BnF Gallica

Revue générale de l'électricité : organe de l'Union des syndicats de l'électricité / directeur J. Blondin ; rédacteur en [...]

{BnF Gallica

Union technique de l'électricité (France). Auteur du texte. Revue générale de l'électricité : organe de l'Union des syndicats de l'électricité / directeur J. Blondin ; rédacteur en chef Alfred Soulier. 1930-07-05.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

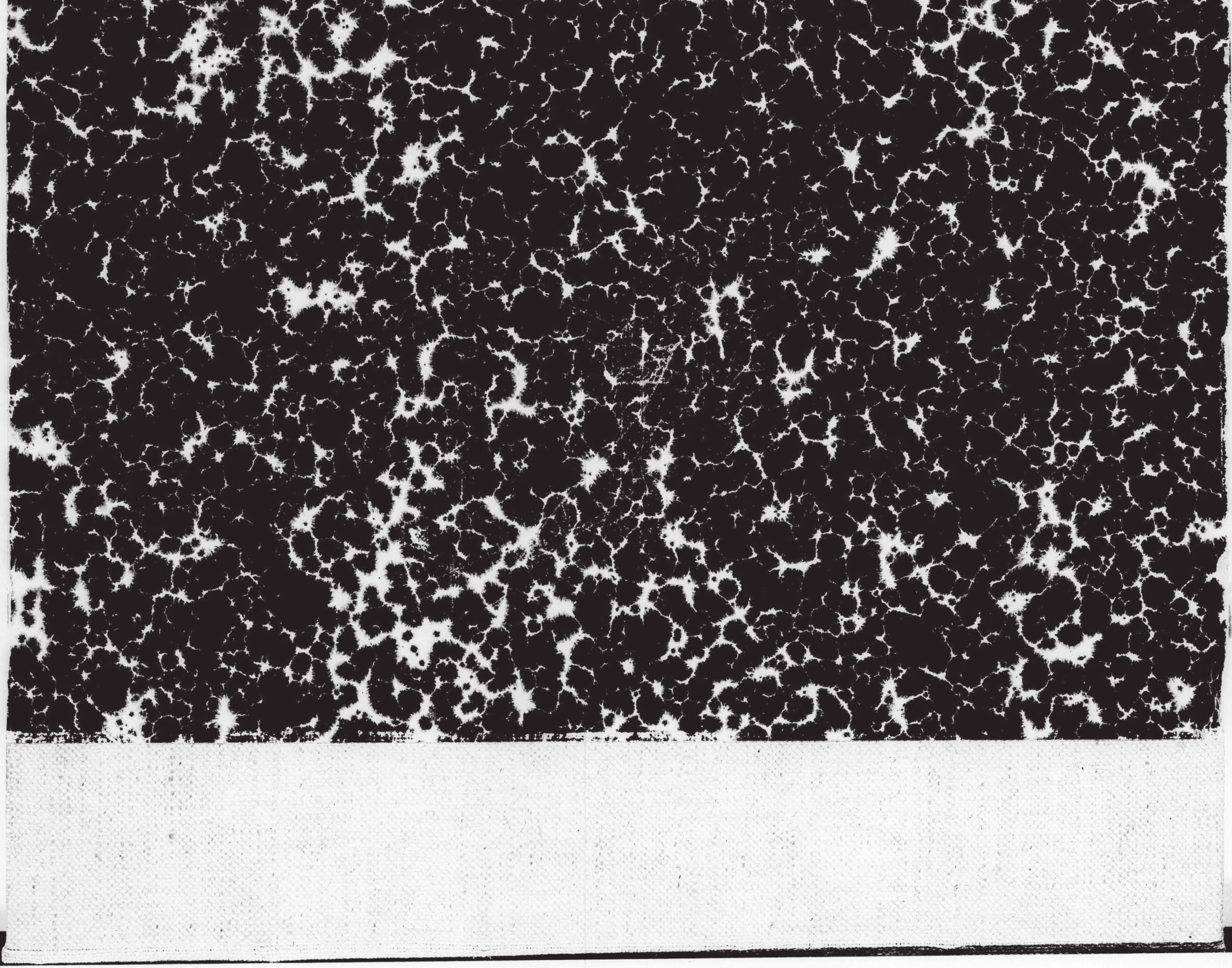
- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

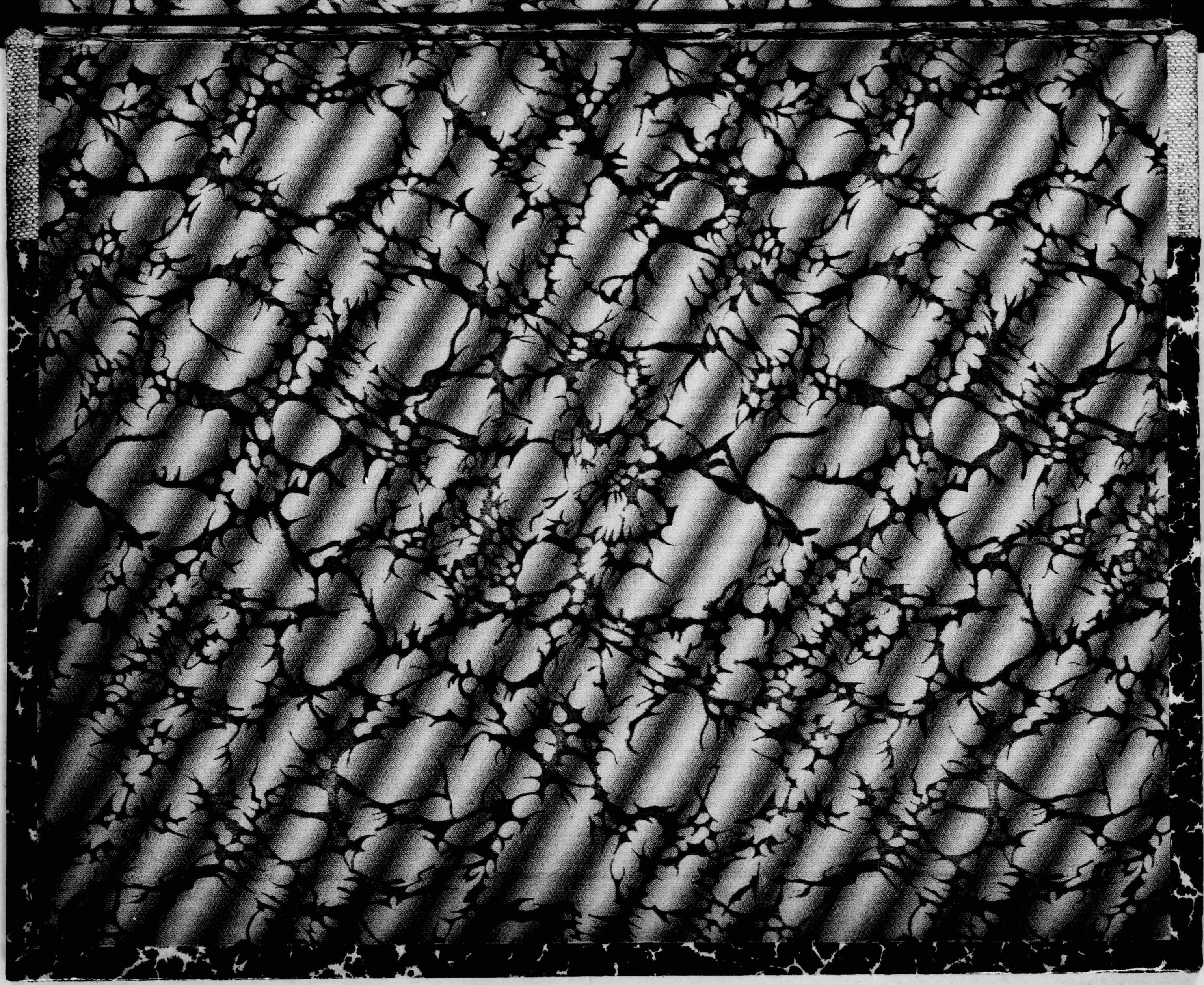
4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
utilisation.commerciale@ bnf.fr.





14e Année. Tome XXVIII. — N° 1. 5 Juillet 1930.

B 11-7-21

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

21724

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR DÉPÔT LÉGAL

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ÉLECTRICITÉ
ET DU COMITÉ ÉLECTROTECHNIQUE FRANÇAIS

SOMMAIRE

CHRONIQUE. — Réorganisation de la Commission permanente de Standardisation, p. 1. — Visite de la Presse technique aux chantiers des aménagements hydroélectriques de Kembs, p. 1.

SECTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE. — Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones, par Ch. Galmiche, p. 3. — Diagramme de fonctionnement d'un transformateur autorégulateur à enroulement mobile, par V. Genkin, p. 13. — Revues, analyses et informations : Le fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique, p. 16; Propriétés des diélectriques, p. 17; Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement, p. 18.

SECTION INDUSTRIELLE. — Le guidage par câble et le guidage sans câble des navires et des avions, par C. Bourgonnier, p. 19. — Revues, analyses et informations : Echauffement et intensités de courant admissibles dans les conducteurs nus installés à l'extérieur, p. 32.

SECTION ECONOMIQUE ET FINANCIÈRE. — Assemblées générales : L'Energie industrielle, p. 33; Compagnie centrale d'Energie électrique, p. 35.

SECTION DE LÉGISLATION. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret instituant un Comité supérieur de Normalisation, p. 37; Arrêt de la Cour de Cassation déclarant non passible de l'impôt les sommes reçues par les porteurs de parts de fondateurs pour le rachat de ces parts, p. 39; Sur la déduction des bénéfices industriels de la valeur locative des immeubles appartenant à l'industriel, p. 39; Sur le délais dans lesquels doit être acquittée la taxe sur le chiffre d'affaires, p. 39. Sur la non imposition comme revenus des dommages et intérêts alloués à un inventeur pour contrefaçon, p. 40; Sur les formalités à remplir pour recevoir en franchise les marchandises exportées puis retournées à l'expéditeur, p. 40; Sur les frais incombant aux propriétaires d'embranchements industriels lors de l'électrification de la ligne principale de chemin de fer, p. 40.

BULLETIN R. G. E. — Nouvelles et échos. — Informations. — Sociétés industrielles. — Brevets récents. Réunions, conférences, etc. — Cours des métaux. — Index économique, p. 1 B-8 B.

DOCUMENTATION..... p. 1 D-8 D
UNION DES SYNDICATS..... p. 93 U-108 U
PETITES ANNONCES..... p. LXXV-LXXVII

RÉDACTION & ADMINISTRATION : 12, Place de Laborde, PARIS (VIIIe).
Téléph. : Laborde 23-38 — Compte de chèques postaux Paris 239-86 — Registre du Commerce : Seine N° 181 794

REVUE HEBDOMADAIRE

Prix des Abonnements { France et Colonies : un an, 100 fr; six mois, 55 fr. / Etranger : un an, 10 dollars ou 12 dollars suivant conditions postales } **Prix du Numéro : 5 fr.**

TOUT LE MATÉRIEL
ÉLECTRIQUE DE LA
CENTRALE A LA
LAMPE

Cie GÉNÉRALE
D'ÉLECTRICITÉ

Sté. ANyme AU CAPITAL DE 130 MILLIONS DE Frs. 54, Rue La Boëtie, PARIS (VIIIe)
Téléph.: Élysées 48.01 à 06 - SUCCURSALES à : ALGER, BORDEAUX, CLERMONT-FERRAND, DIJON, LILLE, LYON, MARSEILLE, METZ, NANCY, NANTES, NICE, ORAN, REIMS, ROUEN, St-ÉTIENNE, STRASBOURG, TOULOUSE, TOURS. - NOMBREUX REPRÉSENTANTS ET AGENCES A L'ÉTRANGER.

BIBLIOTHÈQUE ... PARIS

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

ORGANE DE L'UNION DES SYNDICATS DE L'ÉLECTRICITÉ
ET DU COMITÉ ÉLECTROTECHNIQUE FRANÇAIS

DIRECTEUR
J. BLONDIN, AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ

RÉDACTEUR EN CHEF
Ad. CURCHOD, DIPLÔMÉ DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

TOME XXVIII

5 Juillet 1930 — 27 Décembre 1930

PARIS
AUX BUREAUX DE LA REVUE
12, PLACE DE LABORDE (8e ARRT)

1930

CONSEIL D'ADMINISTRATION

PRÉSIDENT HONORAIRE

CORDIER Gabriel. — Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité. Président d'honneur de l'Union des Industries métallurgiques et minières.

PRÉSIDENT

LEGOUEZ Raynald. — Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité. — Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Ancien Vice-Président de la Chambre de Commerce de Paris.

VICE-PRÉSIDENTS

MEYER Ferdinand. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Président du Conseil d'Administration de la Compagnie continentale Edison.

MEYER Marcel. — Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques. — Directeur de la Compagnie générale de Travaux d'Eclairage et de Force (Anciens Etablissements Clémançon).

ADMINISTRATEURS

BRYLINSKI Emile. — Président d'honneur et Délégué général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Président du Comité électrotechnique français.

CAHEN Henri. — Président de l'Union des Syndicats de l'Electricité. — Vice-Président du Sud-Electrique.

CORDIER Ernest. — Administrateur délégué de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen.

CRUCHON Louis. — Directeur général de la Compagnie générale d'Électricité.

DUVAL Charles. — Président du Syndicat des Entrepreneurs de Réseaux et de Centrales électriques. — Directeur des Services électriques de la Société générale d'Entreprises.

ESCHWÈGE Paul. — Président d'honneur du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur délégué de la Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité à Paris.

FONTAINE Eugène. — Trésorier du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

GIRARDEAU Emile. — Administrateur délégué de la Compagnie générale de Télégraphie sans fil.

HECKER Robert. — Administrateur délégué de la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston.

MAZEN Natalis. — Sous-Directeur honoraire des Chemins de fer de l'Etat. — Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

PARÉ Marcel. — Directeur général adjoint de la Société saint-quentinoise d'Eclairage, de Chauffage et de Force motrice. — Administrateur de la Compagnie continentale pour la Fabrication des Compteurs.

PETIT Joseph. — Président de l'Omnium lyonnais de Chemins de fer et Tramways. — Vice-président de la Compagnie du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris.

REY Jean. — Membre de l'Institut. — Président d'honneur du Syndicat général de la Construction électrique. — Administrateur directeur des anciens Etablissements Sautter, Harlé et Compagnie.

SAUREL Maurice. — Docteur en droit. — Président du Syndicat des Fabricants français de Lampes électriques. — Administrateur délégué de la Compagnie des Lampes.

TICIER Armand. — Administrateur délégué des Etablissements Devilaine et Rougé.

ULRICH Marcel. — Président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Administrateur délégué de la Société d'Électricité de Paris.

SECRÉTAIRE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

BLONDIN Maurice. — Licencié ès-sciences. Ingénieur E. S. E.

COMMISSAIRES AUX COMPTES

COPE Pierre. — Chef de comptabilité. MARTY Georges. — Docteur en droit.

DIRECTEUR

BLONDIN Joseph. — Agrégé de l'Université.

COMITÉ DE RÉDACTION

PRÉSIDENT

Blondel, André, Membre de l'Institut, Professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées

VICE-PRÉSIDENTS

Boucherot, Paul, Président de l'Union des Syndicats d'Ingénieurs français.

Brylinski, E., Président d'honneur et Délégué général du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, Président du Comité électrotechnique français

Janet, Paul, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'Ecole supérieure d'Electricité.

SECTION SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE

d'Arsonval, A., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

Brillouin, M., Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France.

Fabry, Ch., Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris, Examinateur à l'Ecole polytechnique.

Ferrié, Général G., Membre de l'Institut, Commandant supérieur des Troupes et Services de Transmission.

Guillaume, Ch.-Ed., Membre correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau central des Poids et Mesures.

Barbillion, L.-C., Professeur à l'Université de Grenoble.

Becker, J., Licencié ès sciences.

Bethenod, J., Ingénieur en chef de la Société française Radio-Electrique.

Bion, Capitaine de frégate, chef du Service des recherches scientifiques à l'Etat-Major général de la Marine.

Camichel, C., Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Chaumat, H., Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Sous-Directeur honoraire de l'Ecole supérieure d'Electricité.

Ferrier, R., Ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées.

Féry, Ch., Docteur ès sciences, Professeur honoraire de l'Ecole de Physique et de Chimie.

Genkin, V., Ingénieur-conseil.

Girault, P. Ingénieur à la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom).

Guilbert, C.-F., Ingénieur électricien, Professeur adjoint au Conservatoire national des Arts et Métiers, Arbitre rapporteur près le Tribunal de Commerce de la Seine, Sous-Directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité.

Guillebet de Nerville, Ingénieur en chef des Télégraphes, Professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.

Gutton, C., Directeur du Laboratoire national de Radioélectricité.

Jouaust, R., Sous-directeur du Laboratoire central d'Electricité.

Jouguet, Inspecteur général des Mines, Professeur à l'Ecole des Mines.

Lamotte, M., Professeur à la Faculté des Sciences et à l'Institut électrotechnique de Toulouse.

Langevin, P., Professeur au Collège de France.

Latour, Marius, Ingénieur-conseil.

Léauté, André, Répétiteur de Physique à l'Ecole polytechnique, Administrateur délégué de la Société de Recherches et de Perfectionnements industriels.

Leblanc, Maurice, Ancien élève de l'Ecole normale supérieure, agrégé de l'Université.

Liénard, A., Directeur de l'Ecole supérieure des Mines.

Mauduit, A., Professeur d'Electrotechnique à la Faculté des Sciences de Nancy.

de Pistoye, H., Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité, Ingénieur-conseil.

Pomey, J.-B., Inspecteur général des Postes et Télégraphes en retraite.

Rigollot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Lyon, Directeur de l'Ecole centrale lyonnaise.

Swyngedauw, R.-A., Professeur à l'Université de Lille, Directeur de l'Institut électrotechnique de Lille.

Turpain, A., Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Weiss, P., Professeur à l'Université de Strasbourg.

SECTION INDUSTRIELLE, ÉCONOMIQUE et FINANCIÈRE

Liesse, André, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Rey, J., Membre de l'Institut, Administrateur directeur des anciens Etablissements Sautter, Harlé et Compagnie.

Auvert, Ingénieur principal honoraire du matériel de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée (installations électriques).

Bachellery, A., Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

Brenot, P., Ancien Chef du Centre radiotélégraphique de Paris et du Service de la Radiotélégraphie au Ministère des Colonies, Directeur technique de la Société française Radio-Electrique.

Buffet, J., Président de la Société nancéenne de Crédit industriel et de Dépôts.

Bunet, P., Ingénieur-conseil.

Charpenay, Banquier, Membre de la Chambre de Commerce de Grenoble, Administrateur délégué de la Société des Forces motrices du Haut-Grésivaudan.

Caudrelier, F., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef des Services électriques de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.

Cordier, F., Colonel d'Artillerie

Cordier, Fernand, Ingénieur en chef aux Etablissements Schneider et Cie.

Courtois, Gabriel, Ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

Drouin, F., Directeur des Services techniques de la Compagnie générale d'Electricité.

Eydoux, D., Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées, Directeur des Etudes à l'Ecole polytechnique.

Eyrolles, L., Ingénieur, Directeur de l'Ecole spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie.

Flusin, Professeur d'Electrochimie et d'Electrométallurgie à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Girod, Paul, Administrateur délégué des Etablissements Paul Girod, à Ugine.

Gratzmuller, L., Ingénieur-conseil.

Guyon, Directeur de la Compagnie des Tramways de Lyon.

Hugoniot, Ingénieur-conseil.

Imbs, Président de la Société française des Electriciens, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Administrateur à la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricté.

Jumau, Directeur technique à l'Accumulateur Tudor.

Juppont, Ingénieur-conseil.

Labrouste, P., Ingénieur-conseil.

Laurain, H., Président de la Société d'Electricité de Reims et de la Société des Tramways électriques de Reims, Directeur des Services techniques de la Société du Gaz de Paris, Membre du Conseil de l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Lauriol, P., Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées; Ancien ingénieur en chef des Services généraux d'Eclairage de la Ville de Paris.

Legouez, R., Président d'honneur de l'Union des Syndicats de l'Electricité; Ancien Président du Syndicat professionnel des Industries électriques; ancien Vice-Président de la Chambre de Commerce de Paris.

Lelong, Ingénieur en chef du Génie maritime, Ministère de la Marine.

Loppé, F., Ingénieur des Arts et Manufactures.

Lorin, Maître de conférences à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Mamy, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

de Marchena, Professeur à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures.

Mariage, André, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la Compagnie des Transports en commun de la Région parisienne.

Maugas, Gabriel, Ingénieur général du Génie maritime.

Mazen, N., Sous-directeur honoraire des Chemins de fer de l'Etat, Professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité.

Parodi, H., Président de la Société française des Electriciens, Ingénieur-conseil.

Picou, R., Ingénieur-conseil, ancien Président du Comité électrotechnique français.

Resal, Eugène, Ingénieur en chef honoraire des Ponts et Chaussées, Administrateur-directeur des Tramways de Bordeaux.

Roth, E., Ingénieur en chef à la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom).

Roux, G., Directeur du Bureau de Contrôle des Installations électriques.

de Valbreuze, Ingénieur électricien, Administrateur délégué des anciens Etablissements Deberghe et Lafaye.

Vautier, T., Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

Walkenaer, C., Inspecteur général des Mines.

Weiss, Georges, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Doyen de la Faculté de Médecine de Strasbourg.

SECTION DE LÉGISLATION

Blaevœt, Charles, Chef de bureau au Ministère des Travaux publics, direction des Distributions d'Energie électrique.

Bougault, P., Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Carpentier, E., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Fernand-Jacq, Docteur en droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Fontaine, E., Trésorier du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Mahieu, A., Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Mestre, A., Professeur à la Faculté de Droit de Paris.

Monmerqué, A., Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées.

Payen, F., Docteur en droit, Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Sirey, Ch., Avocat à la Cour d'Appel de Paris.

Taillefer, A., Avocat à la Cour de Paris, ancien Elève de l'Ecole polytechnique, Membre de la Commission technique de l'Office national de la Propriété industrielle.

de la Taste, Avocat à la Cour d'Appel de Paris, Licencié ès sciences physiques et chimiques.

Weiss, Inspecteur général des Mines.

Zacon, Inspecteur du Travail.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

Recherches et travaux scientifiques

GENERALITES

Etudes théoriques. — Maupertuis, par *Pierre Brunet* (Bibliographie) 125
L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta, par *Eugène Bloch* (Bibliographie) 125
Conférences d'actualités scientifiques et industrielles (année 1929) (Bibliographie) 164
Maupertuis : l'œuvre et sa place dans la pensée scientifique du dix-huitième siècle, par *Pierre Brunet* (Bibliographie) 194
Les méthodes électriques de pesée des atomes (*L. Bruninghaus*) 195
Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire, par *Louis de Broglie* (Bibliographie) 258
Analogies électriques mécaniques (*Max Cosyns*) 331
Recueil sur les ondes et corpuscules, par *Louis de Broglie* (Bibliographie) 346
La doctrice einsteinienne devant les faits périodiques et la réfraction lumineuse. Sur l'intelligence au travail, par *Marcelin Dubroca* (Bibliographie) 387
Les statistiques quantiques et leurs applications, par *Léon Brillouin* (Bibliographie) 554
Physique moderne, par *Gaetano Castelfranchi* (Bibliographie) 593
La mécanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques, par *Arthur Haas* (Bibliographie).. 634
L'électricité, l'éther et les quanta (*F. Prunier*).... 635
Un nouveau phénomène d'optique : l'effet Raman (*A. Boutaric*) 683
Les quanta, par *Georges Dejardin* (Bibliographie).. 764

ELECTRICITE ET MAGNETISME

Généralités. — La capture d'électrons par des particules (*H. Barnes*) 87
Starkstromtechnik (La technique des courants forts), par *E.-V. Rziha* et *J. Seidener* (Bibliographie) 226
La conduction électronique et l'ionisation dans des champs électrique et magnétique croisés (*N. Minorsky*) 562
Recherches sur la diffraction des électrons. Analyse électronique (*Ponte*) 608
Recherches sur les propriétés diélectriques des gaz ionisés et la décharge en haute fréquence (*H. Gutton*) 686
Le mouvement d'ions positifs lents dans les gaz (*J.-J. Thomson*) 690
Les énergies des électrons dans les gaz (*J.-S. Townsend*) 727
La recombinaison des ions dans l'air et dans l'oxygène dans ses relations avec la nature des ions gazeux (*O. Lahr*) 779

Recherches scientifiques et industrielles. — Le Musée de l'Electricité de Bruxelles..... 513

Electrostatique. — Généralités. — Deux heures de physique (Electrostatique), par *B. Biquard* et *F. Joliot* (Bibliographie) 42
La nature du frottement (triboélectricité) (*P.-E. Shaw*) 60
Production de l'électricité par frottement (*P.-E. Shaw*) 175

Diélectriques. — Propriété des diélectriques (*R.-R. Benedict*) 17
Mesure de la constante diélectrique et de l'indice de réfraction de l'eau et des solutions aqueuses de chlorure de potassium aux fréquences élevées (*F.-H. Drake, G.-W. Pierce* et *M.-T. Dow*)..... 93
Mesure des constantes diélectriques des milieux conducteurs (*J. Wyman*) 173
Recherches sur les propriétés diélectriques des gaz ionisés et la décharge en haute fréquence (*H. Gutton*) 686
Les molécules polaires et leur contribution aux pertes d'énergie dans les diélectriques (*F. Hamburger*) 822

Électrocinétique. Electrodynamique. — Courant électrique. Conduction. — L'état actuel de nos connaissances sur les supraconducteurs (*A. Boutaric*) 165
A propos des supraconducteurs (*Albert Turpain*).... 560
Expériences sur les anomalies apparentes de la loi d'Ohm appliquée aux métaux dans le cas de grandes densités de courant (*H.-M. Barlow*) 238

Décharge électrique. Arc électrique. — Le problème du mécanisme de la décharge par étincelles (*L.-L. Loeb*) 403
La décharge en couronne (*H.-A. Gould*)..... 484
Le phénomène de couronne dans l'air (*Sigmund-K. Waldorf*) 561
Sur les phénomènes survenant dans la région cathodique de l'arc dans le vide (*R. Tanberg*)..... 485

La colonne positive uniforme d'une décharge électrique dans la valeur de mercure (*T.-J. Killian*). 648
Recherches sur les propriétés diélectriques des gaz ionisés et la décharge en haute fréquence (*H. Gutton*) 686
Recherches sur les figures de de Heen et l'effluve électrique (*A. Lafay*) 725
Décharges plasmoïdales oscillatoires à haute fréquence dans le vide « non conducteur » (*B.-W. Wood*) 907
La chute de potentiel entre strates dans la décharge électrique traversant l'oxygène raréfié (*J. Zeleny*). 907
Le rétablissement des arcs alternatifs de faible longueur (*F.-C. Todd* et *T.-E. Browne*)..... 948
Les particularités de la décharge électrique dans les gaz rares au point de vue de leur application à l'éclairage (*Marcel Laporte*)..... 1038

Thermoélectricité. — L'effet Hall, la conductivité électrique et le pouvoir thermoélectrique de série d'alliages plomb et antimoine (*E. Stephens*)..... 94
L'effet Thomson dans les cristaux de zinc (*L.-A. Ware*) 691

Electrolyse. — Etude sur l'électrodéposition des métaux (*Donald-B. Keyes* et *Sherlock Swann*).... 174
L'influence de la température sur la capacité et la résistance de polarisation de solutions d'acide sulfurique (*E.-E. Zimmerman*)..... 206
Recherches sur la cataphorèse de petites particules en suspension dans l'eau (*D.-A. Newton*)..... 272
Sur l'obtention d'hydrogène très pur et en quantités notables à l'aide d'un osmorégulateur électrolytique à palladium (*Horia Hulubei*) 486
Les nouvelles théories de la dissociation électrolytique (*Louis Brunet*) 646

Rayons cathodiques et anodiques. Rayons X. —Sur l'espace obscur cathodique dans la décharge cathodique de Geissler (*E.-C. Childs*)..... 90
Appareils producteurs de rayons X, intenses et monochromatiques de très grande longueur d'onde. Tube à rayons X à potentiels échelonnés fonctionnant sous haute tension (*F. Holweck*)..... 271
A propos d'une ampoule à rayons X fonctionnant sous une tension constante de 400 000 volts..... 298
Ampoule à rayons X du type Coolidge fonctionnant sous la tension de 400 000 volts (*A. d'Arsonval*).. 312
L'étalonnage de la chambre à ionisation en forme de dé (*L.-S. Taylor* et *G. Singer*)..... 780
Le dénombrement photographique des particules *a* (*J.-C. Jacobsen*) 864
Sur la distribution spatiale du rayonnement gamma du radium dans les milieux dispersifs légers (*Marc Bruzau*) 238

Physique moléculaire. — Les molécules polaires et leur contribution aux pertes d'énergie dans les diélectriques (*F. Hamburger*) 822

Photoélectricité. — Les propriétés photoélectriques et thermoioniques des filaments de verre recouverts de platine (*A.-K. Brewer*) 692
Phénomènes de force électromotrice, de résistance et de capacité ayant pour siège les piles photovoltaïques contenant des composés organomagnésiens de Grignard (*H.-E. Hammond*)..... 779
Le rôle de l'âme de métal dans les filaments recouverts d'oxyde (*E.-F. Lowry*) 780
La photoionisation du césium par l'absorption discontinue (*F.-L. Mohler* et *C. Boeckner*) 908
L'effet de champs électriques intenses sur les propriétés photoélectriques des métaux (*E.-O. Lawrence* et *L.-B. Linford*) 908

Méthode d'accroissement de la sensibilité des cellules photoélectriques à métaux alcalins (*A.-R. Olpin*) 947

Magnétisme. — Les facteurs mécaniques et magnétiques capables d'exercer une influence sur l'orientation et la perfection de cristaux isolés de bismuth (*A. Goetz*) 91
L'effet Hall, la conductivité électrique et le pouvoir thermoélectrique de la série d'alliages plomb et antimoine (*E. Stephens*) 94
La saturation absolue des substances ferromagnétiques et les lois d'approche en fonction du champ et de la température (*Pierre Weiss* et *R. Forrer*). 176
A propos de la théorie du magnétisme (*A.-K. Kotelnikoff*) 203
Manuel pratique de magnétisme terrestre, par *L. Eblé* (Bibliographie) 468
La susceptibilité magnétique du rubidium (*C.-T. Lane*) 528
La susceptibilité magnétique des gaz : sa relation avec la pression (*F. Bitter*)..... 564
Les caractéristiques magnétiques du nickel (*F. Tyler*) 649
L'effet Barkhausen : Détermination de la grandeur moyenne des discontinuités d'aimantation (*R.-M. Bozorth* et *J.-F. Dillinger*)..... 692

Electromagnétisme. Induction. — Commémoration du centenaire de la découverte par Faraday de l'induction électromagnétique 385
Méthode de calcul des flux, des franges et de la répartition du potentiel au voisinage d'un point dans un espace dont une section est délimitée par des droites (*Gabriel-Henri Perrin*)..... 469
Action mécanique exercée sur un conducteur par les ondes électromagnétiques (*Suzanne Husson*).. 563
L'inductance mutuelle de courts solénoïdes coaxiaux et concentriques (*H.-B. Dwight* et *P.-W. Sayles*).. 650
Champ électrique produit en présence du sol par un fil conducteur de courant alternatif (*J.-B. Pomey*). 985

Piézoélectricité. — Quelques recherches sur la vitesse du son aux fréquences ultrasonores, obtenues au moyen d'oscillateurs en quartz (*C.-D. Reid*) 689

Electricité atmosphérique. — La foudre globulaire (*E. Mathias*) 761

SCIENCES DIVERSES

Mathématiques. — A propos de la décomposition des systèmes de trois vecteurs déséquilibrés (*Jules Yernaux*) 259
Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes (*Lucien Abélès*) 515

Mécanique. — Leçons sur la résistance des fluides non visqueux, par *Paul Painlevé* (Bibliographie)... 514

Hydraulique. — Note sur la théorie des coups de bélier (*L. Bergeron*) 331
Considération sur la similitude (*C. Camichel*)..... 332
Note sur la répartition des vitesses dans un canal à profil complexe (*V.-M. Hégly*)..... 673

Chaleur. — Echelles thermoélectriques des températures (*W.-F. Roeser*)..... 135

Acoustique. — Quelques recherches sur la vitesse du son aux fréquences ultrasonores, obtenues au moyen d'oscillateurs en quartz (*C.-D. Reid*)..... 689

Optique. — Quelques aspects de la théorie quantique des spectres lumineux (*L. Bruninghaus*) 933, 990

Applications techniques et industrielles

GENERALITES

Analogies électriques mécaniques (*Max Cosyns*).... 331

Ouvrages et annuaires. — Vorschriftenbuch des Verbandes deutscher Elektrotechniker (Prescriptions du Verband deutscher Elektrotechniker) (Bibliographie) 126

Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927 (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927), par *J. Wallot* (Bibliographie) 764

Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik (Exposé de quelques faits historiques de l'électrotechnique), par *Elektrotechnischer Verein* (Bibliographie) 802

Organisation. — La Section de Documentation de la Société des Transports en Commun de la Région parisienne 965

Unification. Normalisation. Réglementation. — Réorganisation de la Commission permanente de Standardisation 1

Décret instituant un Comité supérieur de Normalisation 37

Comité de Normalisation de la Mécanique : Session de juin 1930..... 41

Mise à l'enquête publique par le Comité de Normalisation de la Mécanique de diverses normalisations. 193, 297, 553, 763, 922

La normalisation (*Pierre Blanchard*)..... 331

Les règles générales suivies par les organismes français de normalisation pour assurer l'homogénéité de leurs normes (*Comité de Normalisation de la Mécanique*) 375

A propos du langage technique et du choix des notations 801

Projet de normalisation des formats du papier 875

Prescriptions spéciales relatives aux installations de la première catégorie particulièrement exposées aux effets de la foudre (*A. Mauduit*)..... 1007

PRODUCTION ET TRANSMISSION DE L'ENERGIE MECANIQUE

Généralités. — Quelques rapports présentés au Congrès international de Mécanique générale (Liége, 1930) 330

Energie éolienne. — Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques, par *René Champly* (Bibliographie) 258

Energie hydraulique. — GÉNÉRALITÉS. — Visite de la Presse technique aux chantiers des aménagements hydroélectriques de Kembs 1

La station de pompage du lac d'Artouste (*L. Combeniac*) 107

Idraulica (Hydraulique), tome I, par *Giulio de Marchi* (Bibliographie) 347

Contribution à l'étude hydrologique du versant ouest du Plateau central (*M. Martinet*) 495

Enquête sur les débits de crue (*Aimé Coutagne*). 673

Contrôle hydrologique d'un bassin (*Aimé Coutagne*) 673

Expériences sur les conduites de l'usine de Miègebat (*C. Camichel, J. Leclerc du Sablon* et *L. Escande*) 1005

MOTEURS. — Régulateurs pour turbines hydrauliques (*E. Jaquet*) 249

Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques, par *René Champly* (Bibliographie)..... 258

Note sur les courbes caractéristiques des turbines hydrauliques (*L. Bergeron*) 332

Les turbines hydrauliques à grande puissance pour basses chutes (*Ernest Hahn*)..... 332

Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse; tome I, par *André Tenot* (Bibliographie) 346

Energie thermique. — GÉNÉRALITÉS. — La vapeur à très haute pression, par *F. Munzinger* (Bibliographie) 348

Nouvelle théorie du tirage naturel, prévision et fonctionnement d'une cheminée accouplée à un circuit de chauffage (*M. Véron*) 713

Sur l'utilisation à la production de l'énergie de la différence de tension de la vapeur émise à la même température par l'eau douce des fleuves et l'eau salée des mers (*C. Raveau*) 609

A propos de l'utilisation des fleuves à leur embouchure : Rectification (*C. Raveau*)..... 970

COMBUSTIBLES. — Utilisation du poussier de lignite comme combustible sous une forme pulvérisée (*U. Legnaioli*) 188

MOTEURS. — La chaudière Atmos (*Ehlinger*)..... 332

La chaudière Benson (*L. Herry*) 333

Turbines à vapeur à très haute pression (*Flatt*).... 333

La turbine à vapeur Oerlikon dans les tendances modernes (*J. Karrer*) 333

Moteur Diesel à injection mécanique (*Paul Dumanois*) 334

Evolution du gros moteur à gaz en Belgique (*H. Lesueur*) 334

L'influence de la sursaturation sur le rendement thermique des installations à deux fluides utilisant de la vapeur de mercure et de la vapeur d'eau (*W.-J. Kearton*) 334

Machines à vapeur, par *René Champly* (Bibliographie) 428

Les chaudières de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité 612

Le dépoussiérage des fumées de chaudières (*Renaud Dienne*) 810

Pompes centrifuges d'alimentation pour chaudières à très haute pression (*G. Weyland*)..... 909

Transmission de l'énergie mécanique. — Transmission du mouvement par câble du système Johann Ovrebek (*A.-R. Holm*) 334

PRODUCTION ET DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Généralités. — OUVRAGES ET ANNUAIRES. — Des atteintes à la propriété à raison des travaux publics, notamment pour la production et la distribution d'énergie électrique, par *Ch. Blaevoet* (Bibliographie) 42

Manuel pratique du monteur électricien, par *J. Laffargue* et *L. Jumau* (Bibliographie) 164

Starkstromtechnik (La technique des courants forts), par *E.-V. Rziha* et *J. Seidener* (Bibliographie) 226

Agenda d'électricité pour 1930, par *P. Bunet* et *A. Ceytre* (Bibliographie) 348
Il fattore di potenza (Le facteur de puissance), par *Giuseppe Finocchi* (Bibliographie)..... 428
Elektrische Maschinen (Les machines électriques), t. II, par *Rudolf Richter* (Bibliographie)..... 594
Comptablité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique, par *Marius Dubouloz* (Bibliographie) 633
Oesterreichs zukünftige Energiewirtschaft (Les perspectives d'avenir de l'électrification de l'Autriche), par *Richard Hofbauer* (Bibliographie).... 714
Carte des usines génératrices, des réseaux de distribution et des lignes de transmission de l'Afrique du Nord, par la *Société financière électrique* (Bibliographie) 922
Gestehungskosten und Verkaufspreise elektrischer Arbeit (Prix de revient et prix de vente de l'énergie électrique), par *Fr. Brock* (Bibliographie).... 970

STATISTIQUES. — Commentaires sur les statistiques de consommation d'énergie, dans les régions rurales (*P. Sohie*)..... 676
La statistique internationale de la production et de la distribution d'énergie électrique (*O. Ganguillet*) 1031

UNIFICATION. NORMALISATION. RÉGLEMENTATION. — Pour l'unification du langage technique : Transmission d'énergie ou transport d'énergie?..... 673
Prescriptions spéciales relatives aux installations de la première catégorie particulièrement exposées aux effets de la foudre (*A. Mauduit*)..... 1007
Les définitions principales qui caractérisent la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique (*Stanislas Konczykowski*) 1031

Réseaux. Usines génératrices. Sous-stations. — GÉNÉRALITÉS. — Quelques remarques sur la concurrence entre l'énergie thermique et l'énergie hydraulique et sur la fourniture de l'énergie de pointe (*J. Hak*) 529
Résolution relative aux prix de revient et de vente de l'énergie électrique (*Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique*) 770
Les tendances du développement de la consommation, de l'organisation commerciale et de la propagande en France (*P.-H. Pinard*)..... 927
Les tendances actuelles du développement de la consommation et la propagande (*L. Sartre*).... 931
La propagande pour l'application de l'électricité en Pologne (*Czeslaw Zakiewicz*) 931
L'électrification rurale en Belgique (*P. Sohie*)..... 932
La propagande auprès des abonnés, y compris diverses applications de l'électricité; les progrès de l'éclairagisme (*A. Burri*) 971
La propagande faite par les distributeurs belges d'énergie électrique (*P. Sohié*)..... 973
L'électrification rurale en Grande-Bretagne (*R. Borlase-Matthews*) 973
La publicité dans une société de distribution d'énergie électrique (*L. Groslier*) 973
La propagande en faveur de l'électricité, organisée par la Compagnie d'Electricité de Lodz (*Edward Ulmann*) 973
Les coefficients de diversité et d'utilisation (*Compagnie lorraine d'Electricité*) 976
Egalisation de la puissance à fournir par les centrales d'électricité (*W. Wyssling*) 982
Réduction des pointes de charge et utilisation de l'énergie résiduelle (*O. Ghetti*)..... 984
Le problème de la tarification de l'énergie électrique (*Institut national roumain pour l'Etude de l'Aménagement et de l'Utilisation des Sources d'Energie*) 1024

Méthode graphique de représentation et de comparaison de divers tarifs de vente de l'énergie électrique, basés sur le caractère de la consommation avec égard spécial aux tarifs des entreprises électriques de Prague (*H. Melzer*) 1026
L'influence de la tarification de l'énergie réactive sur l'exploitation technique et commerciale des installations électriques en rapport aux résultats obtenus par le groupement Società Adriatica di Elettricità (*Giacomo Fracanzani*) 1027
Les tarifs dans les cahiers des charges en Pologne (*Maurice Altenberg*) 1029
La tarification de l'énergie électrique en Belgique (*Paul Chaudoir*) 1029

RÉSEAUX. — L'application des résultats des recherches sur les surtensions à l'étude des réseaux de transmission (*C.-L. Fortescue*) 335
La ligne de transmission d'énergie à 220 000 volts de Cardano à Cislago de la Società idroelettrica Piemonte (*A. dalla Verde*) 359
Réseaux maillés souterrains à basse tension sans protection spéciale contre les surintensités de courant (*A. Segall*) 693
Etude d'un réseau à 400 000 volts (*Georges Viel*).. 729
Un programme économique d'électrification pour l'Europe (*Ernst Schonholzer*)..... 759
Unification de la fréquence dans la région parisienne (*P. Rieunier*) 803
L'unification des fréquences (*Ed. Dickmann*)..... 809
La permanence du service de distribution (*Em. Uytborck*) 843
La permanence du service de distribution (*R. Polack*) 845
Permanence du service de distribution (*Unione nazionale fascista Industrie elettriche*)..... 846
Permanence du service de distribution (*Vereeniging van Directeuren van Electriciteitsbedrijven in Nederland*) 846
Permanence du service de distribution (*Electrotectnicky Svaz Ceskoslovensky*) 846
Permanence du service de distribution (*Centrale électrique de la ville de Vienne*)..... 847
Permanence du service de distribution (*Union des Exploitations électriques en Belgique*) 847
Permanence du service des entreprises de production et de distribution d'énergie électrique (*Marc Dutoit*) 848
Le développement des réseaux de distribution d'énergie électrique et les dangers de la foudre (*A. Boutaric*) 865
La mise à la terre du neutre dans les réseaux à haute et à basse tension (*U. del Buono*)..... 885
La mise à la terre du neutre sur son réseau à 65 000 volts (*Compagnie lorraine d'Electricité*).. 886
La marche en parallèle des grands réseaux (*A. Roncaldier*) 890
Les accidents sur les réseaux aériens à moyenne tension (*R. Polack*) 928

USINES GÉNÉRATRICES. — La station de pompage du lac d'Artouste (*L. Combeniac*) 107
L'usine électrique de Guerlédan et le réseau de distribution de l'Union hydroélectrique armoricaine (*A. Monmerqué*) 315
Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektrizitätswerke (L'accumulation de l'énergie, au point de vue économique, dans les usines génératrices d'énergie électrique), par *Ludwig Musil* (Bibliographie) 348
L'usine hydroélectrique de Riedji à commande automatique (*R.-W. Meunier*) 781

Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques (*Léopold Herry*) 803
La nouvelle centrale de la Chade à Buenos-Ayres (*Société financière de Transports et d'Entreprises industrielles*) 804
Le groupement des centrales métallurgiques du bassin de Briey (*A. Evain*) 806
Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques en Italie (*Ettore Cesari*) 808
La nécessité d'une statistique des irrégularités de marche des centrales thermiques (*Nacholinski*).. 849
La marche en parallèle des centrales électriques (*H. Niesz*) 887
La marche en parallèle des centrales (*Compagnie lorraine d'Electricité*) 888
Les conditions techniques pour la marche en parallèle des usines centrales (*Jaroslav Ibler*) 889
Le poste central de contrôle et de commande électrique à distance de la chauffe à l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité (*T. Pausert*)..... 949
Une visite à l'usine génératrice thermique de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité 1018

Sous-Stations. — La ventilation des sous-stations (*G. Sohlberg*) 337
L'emploi de barres générales de protection au poste de sectionnement de Brunot Island de la Duquesne Light Company (*R.-M. Stanley* et *F.-C. Hornibrook*) 459
La sous-station automatique Bergerie de la Société d'Eclairage électrique de Cannes (*L. Dourche*).. 823
Les postes de transformation de Soisy-sous-Montmorency et de Trie-Château du Nord-Lumière (*H. Daguerre*) 1043

Production. — Machines électriques. — Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones (*Ch. Galmiche*) 3, 43
A propos du fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones (*Ch. Galmiche*) 194
Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne (*Joseph-Maxime Pestarini*) 227, 260
Répartition des charges sur les turboalternateurs à hautes pressions fonctionnant en parallèle (*J. Berthelier* et *A. Vandeghen*) 333
La ventilation d'alternateurs à pôles saillants (*Carl-J. Fechheimer*) 374
Etude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée (*J. Froidevaux*) 389
Etude analytique du fonctionnement de groupes électrogènes en parallèle au cours d'une variation de charge (*L. Barbillion*) 405, 447
Traces de balais sur les bagues de machines synchrones (*M. Perrier*) 413
Méthode de calcul des flux, des franges et de la répartition du potentiel au voisinage d'un point dans un espace dont une section est délimitée par des droites (*Gabriel-Henri Perrin*) 469
Compensateurs synchrones de 25 000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur (*H.-A. Ricker, J.-R. Dunbar* et *R.-E. Day*). 544
Essais en usine d'un turboalternateur de 43 750 kilovolts-ampères 583
A propos de l'étude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée (*V. Genkin*) 593
Théorie générale des machines électriques (*Gabriel Kron*) 752
Les métadynes entre elles et leurs dérivées (*J.-M. Pestarini*) 813, 851, 900
Effets des surtensions dues à la foudre sur les machines rotatives et méthodes de protection contre ces surtensions (*F.-D. Fielder* et *Edward Beck*) 834
La théorie dynamique des machines à courant alternatif et le problème de la stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique (*W.-H. Ingram*) 863
Etablissement de la formule générale des champs tournants à l'aide des nombres complexes (*Gaston Fister*) 947

Piles. — Le siège de la force électromotrice dans la pile photovoltaïque (*W.-N. Lowry*) 404
Phénomènes de force électromotrice, de résistance et de capacité ayant pour siège les piles photovoltaïques contenant des composés organomagnésiens de Grignard (*H.-E. Hammond*)..... 779

Accumulateurs au plomb. — Sur la théorie de l'accumulateur au plomb (*L. Jumau*)..... 311
Nature et caractéristiques de fonctionnement de l'accumulateur au plomb (*E. Denina*) 311
Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*L. Jumau*)..... 651, 696, 744, 786
Plaque d'accumulateur (*E. Sieg*) 651
Accumulateur électrique (*P. Héroult* et *A. Freudenberg*) 651
Electrode de plomb pour accumulateurs électriques (*A Pouchain*) 651
Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs (*C.-H. Everett*) 652
Perfectionnements apportés aux accumulateurs et à leurs procédés de fabrication (*J.-S. Crossley*) .. 652
Plaque d'accumulateur (*A. Blansztajn*) 652
Perfectionnements dans la fabrication des accumulateurs ou batteries électriques (*S.-J. Williams*) 652
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*J. Delpech* et *E. Vacheron*) 652
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*L.-A.-H. Arnaud*) 652
Plaque composée pour accumulateurs électriques (*Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque*) 652
Perfectionnements aux accumulateurs (*Société Ed. Parvillé et Cie*) 652
Accumulateurs (*Société Ed. Parvillé et Cie*) 653
Perfectionnements aux accumulateurs à grande capacité (*E. Parvillé*) 653
Accumulateurs (*Société Ed. Parvillé et Cie*)..... 653
Perfectionnements aux grilles ou plaques d'accumulateurs garnies de pâte (*M. Haddon* et *J. Mac-Donald Burnett*) 653
Perfectionnement aux pôles et accumulateurs électriques et appareils électrolyseurs (*Société Le Carbone*) 654
Perfectionnement aux accumulateurs (*C.-G.-V. Féry*) 654
Accumulateurs électriques à tension de charge réduite. (*Compagnie générale d'Electricité*) 654
Composition pour plaques de batteries d'accumulateurs (*Société The Silica Gel Corporation*)..... 654
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*Société des anciens Etablissements A. Dinin*).. 655
Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques à oxydes rapportés (*Donat de Giovannini*). 655
Procédé de fabrication de plaques pour accumulateurs (*Société I. G.-Farbenindustrie A. G.*)..... 655
Procédé de fabrication d'électrodes en plomb pour accumulateurs (*Sté I.-G. Farbenindustrie A.G.*) 655

Procédé de fabrication d'accumulateurs (*Société I.-G. Farbenindustrie A. G.*) 655
Procédé de préparation d'électrodes négatives pour accumulateurs (*Sté I.-G. Farbenindustrie A. G.*) 655
Plaques d'accumulateurs et leur procédé de fabrication (*Société Furukawa Denki Kogyo Kabushihi Kaisha*) 656
Procédé de séchage des plaques d'accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 656
Mode de traitement de plaques de batteries d'accumulateurs chargées (*Société The Silica Gel Corporation*) 656
Procédé de fabrication d'accumulateurs électriques au plomb (*Compagnie générale d'Electricité*) 656
Procédé de fabrication de plaques au plomb spongieux résistant à l'air, destinées aux accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 656
Procédé pour la conservation de plaques chargées d'accumulateurs électriques et application des plaques obtenues par ce procédé (*Gaston Fromont*) 656
Procédé de traitement de plaques d'accumulateurs permettant leur conservation à l'état chargé et sec (*Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque*) 657
Bac pour batterie d'accumulateurs (*Société Caillard et M. Heuzey*) 657
Batteries galvaniques (*Oldham and Son Limited et W.-D. Wilde*) 657
Bac d'accumulateur (*G.-H. Lévy*) 657
Bac d'accumulateurs (*Société Accumulateur Farad*) 657
Bac d'accumulateur en verre matelassé (*J.-E. Marsden*) 658
Bac pour accumulateurs multiples de lampes électriques de mine (*Société Concordia Elektricitäts A.-G.*) 658
Dispositif de fermeture hermétique d'accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 658
Bac d'accumulateur (*Pœrscke Elektricitäts-Gesellschaft*) 658
Bac en verre avec connexions permettant de former des batteries d'accumulateur électrique pouvant résister aux trépidations (*F. Livon*) 658
Dispositif empêchant la sortie de l'électrolyte liquide par les trous d'évent dans les accumulateurs électriques (*F. Livon*) 658
Perfectionnements aux boîtes ou récipients pour accumulateurs électriques (*Rowland Edwards and Company Ltd*) 659
Fermeture pour accumulateur au plomb (*Compagnie générale d'Electricité*) 659
Accumulateurs (*Société Accumulateurs, Piles, Appareillage*) 659
Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs (*C.-H. Everett*) 660
Bouchon protecteur pour conserver la charge et éviter la sulfatation des accumulateurs au plomb (*C.-J.-V. Féry*) 660
Dispositif obturateur destiné en particulier aux orifices de remplissage des accumulateurs pour lampes de mines (*Société d'Eclairage et d'Applications électriques*) 660
Soupape pour éléments d'accumulateurs (*Compagnie générale d'Electricité*) 660
Dispositif évitant l'écoulement du liquide dans les récipients tels que bacs d'accumulateurs et analogues (*G. Petit*) 660
Système d'isolement pour plaques d'accumulateurs électriques (*Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque*) 661
Dispositif séparateur pour accumulateurs électriques au plomb (*C.-J.-V. Féry*) 661
Perfectionnements aux accumulateurs (*W.-B. Stone*) 662
Séparateur avec baguettes d'écartement pour accumulateurs électriques au plomb (*Compagnie générale d'Electricité*) 662
Séparateurs pour accumulateurs électriques au plomb constitués par des plaques de bois renforcées de nervures (*Compagnie générale d'Electricité*) 662
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*G. Dropsy*) 662
Procédé et dispositifs pour la fabrication de séparateurs isolants pour plaques d'accumulateurs et autres applications (*Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque*) 662
Supports de plaques d'accumulateurs électriques, particulièrement pour les lampes électriques de mines (*Concordia Elektrizitäts A.-G.*) 663
Séparateur pour accumulateurs électriques et procédé de fabrication de ce séparateur (*A.-A. Touzot*) 663
Perfectionnements aux séparateurs pour accumulateurs (*E. Parvillé* et *Société financière pour le Développement de la Traction par Accumulateurs*) 663
Solution pour recharge instantanée et désulfatage des accumulateurs électriques (*d'Hardivillé*) 696
Charge pour batteries d'accumulateurs électriques (*F.-T. Palet*) 697
Dispositif de remplissage de l'électrolyte et d'évacuation des gaz dans les accumulateurs électriques (*Société belge Accumulateurs Tudor*) 697
Dispositif pour contrôler le niveau de l'électrolyte dans les accumulateurs électriques (*J.* et *V. Huitric*) 697
Indicateur de niveau de liquide pour accumulateurs (*Société anonyme des anciens Etablissements Chenard et Walcker*) 697
Dispositif automatique pour le remplissage des accumulateurs (*J.-L.-M. Fréjacques*) 697
Procédé de remplissage des accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 697
Batterie d'accumulateurs (*The Silica Gel Corporation*) 698
Dispositif de contrôle du niveau de l'électrolyte dans les batteries d'accumulateurs (*Société des Accumulateurs électriques. Anciens Etablissements A. Dinin*) 698
Dispositif d'alimentation de batteries d'accumulateurs (*J.-D. Sartakoff*) 698
Procédé de fabrication d'un électrolyte pour accumulateurs au plomb-peroxyde de plomb et d'un accumulateur pourvu de cet électrolyte (*A.-J.-André de la Porte*) 698
Electrolyte pour accumulateurs au plomb (*M. Kugel*) 698
Perfectionnements aux piles et accumulateurs électriques (*Mme Holbrook*) 698
Bouchon verseur pour remplissage des bancs d'accumulateurs (*M. Hervieux*) 699
Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs (*Société de l'Accumulateur Fulmen*) 699
Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs (*C.-H. Everett*) 699
Prise de courant pour accumulateurs électriques, piles ou générateurs divers d'énergie électrique (*Compagnie générale d'Electricité*) 699
Borne pour accumulateur électrique protégeant les connexions contre l'attaque par l'électrolyte (*P. Gras*) 700
Pôle pour accumulateurs électriques au plomb (*Compagnie générale d'Electricité*) 700

Borne d'accumulateur (*E. Kromann*) 700
Borne de connexion pour batteries d'accumulateurs (*Koscherak Siphon Bootle Works*) 701
Mode de fixation des prises de courant sur les bacs d'accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 701
Connexions pour accumulateurs (*E. Parvillé*) 701
Connexion des éléments des batteries d'accumulateurs électriques au plomb (*Compagnie générale d'Electricité*) 701
Perfectionnements aux conducteurs de connexions électriques, plus particulièrement applicables aux éléments d'accumulateurs (*W. Haddon, J.-McDonald Burnett* et *J.-A. Fullilove*) 702
Prise de courant antidéflagrante (*Compagnie générale d'Electricité*) 702
Fermeture de plaques et de pôles pour accumulateurs électriques (*F. Pétrik*) 702
Borne pour accumulateurs électriques et autres appareils (*G. Santet*) 702
Collier de serrage pour bornes d'accumulateurs électriques au plomb (*Société Meyer et Wahl*) 703
Ecrou isolé pour bornes d'accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 703
Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs électriques (*N. Harrison*) 703
Perfectionnement aux accumulateurs électriques (*J. Tudor*) 703
Accumulateur électrique (*H. Calmels*) 703
Accumulateur électrique démontable (*E. Michiels*). 704
Nouveau procédé de montage des batteries d'accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 704
Electrode pour accumulateur (*H. Calmels*) 704
Accumulateur (*Ela Elecktrische Grubenlampen und Akkumulatoren*) 704
Bac à épaulement interne pour accumulateur de batterie fixe à fort isolement (*E.-C.-H. Lefebure*) .. 705
Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques (*A. Faucher*) 705
Nouvelle disposition d'assemblage de plaques d'accumulateurs (*Société Accumulateur Farad*) 705
Accumulateur cellulaire (*J.-M. Large*) 705
Accumulateur particulièrement destiné aux véhicules (*Robert Bosch Aktien Gesellschaft*) 705
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*L.-F.-J. Rousseau*) 706
Accumulateur électrique (*Compagnie générale d'Electricité*) 706
Plaque positive applicable aux accumulateurs électriques, utilisée notamment dans les lampes de mineur (*O. Schneider*) 706
Accumulateur à oxydes rapportés logés entre des plaques de charbon (*J.-M. Large*) 706
Batterie d'accumulateurs (*C.-H. Everett* et *G.-R. Carr*) 706
Accumulateur électrique (*H. Elsner*) 706
Elément creux hermétique et autonome susceptible de constituer un accumulateur, une soupape électrolytique ou autre (*P.-E. Cailleux*) 707
Accumulateur électrique (*E. Deodato*) 707
Bague isolante pour accumulateurs électriques formés par des électrodes bipolaires (*Compagnie générale d'Electricité*) 707
Dispositif pour le prélèvement des tensions intermédiaires aux batteries d'accumulateurs dont les éléments, constitués par des électrodes bipolaires, et des bagues isolantes, sont reliés par des tirants (*Compagnie générale d'Electricité*) 707
Electrodes bipolaires pour accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 708
Dispositif de montage rigide des batteries d'accumulateurs dont les éléments, composés d'électrodes bipolaires et de bagues isolantes, sont reliés par des tirants (*Compagnie générale d'Electricité*) .. 708
Batterie d'accumulateurs électriques à électrodes bipolaires (*Compagnie générale d'Electricité*) 708
Perfectionnements aux accumulateurs (*L.-F.-J. Rousseau*) 708
Lampe à accumulateur particulièrement prévue pour les motocyclettes (*Compagnie générale d'Electricité*) 709
Batterie d'accumulateurs à électrodes doubles (*Compagnie générale d'Electricité*) 709
Procédé de fabrication d'accumulateur (*J. Delpech* et *E. Vacheron*) 709
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*J. Delpech* et *E. Vacheron*) 709
Accumulateurs et piles à électrolyte et leur procédé de fabrication (*P.-E. Cailleux*) 709
Dispositif perfectionné de fermeture des éléments de batteries d'accumulateurs (*de Loye* et *Touzot*) 744
Système de batterie d'accumulateurs à tension variable (*M. Charles*) 744
Perfectionnement aux accumulateurs électriques et à leur mode de fabrication (*Malherbe frères*) 744
Dispositif de support des éléments pour batteries d'accumulateurs (*L. Barbier*) 745
Perfectionnements à la construction des batteries de tension pour téléphonie sans fil et tous autres usages (*Compagnie générale d'Electricité*) 745
Nouvelle disposition de montage des éléments multiples des batteries d'accumulateurs (*Société Accumulateur Farad*) 745
Perfectionnements aux batteries électrolytiques (*J. Bouteille*) 745
Batterie d'accumulateurs (*A.-A. Touzot*) 746
Dispositif de solidarisation permettant le groupement de plusieurs batteries d'accumulateurs électriques en un seul bloc pour téléphonie sans fil et autres applications (*F. Livon*) 746
Boîte-support pour accumulateurs (*C. Pfalzgraf*) ... 746
Batterie d'accumulateurs pour l'éclairage des motocyclettes et autres applications (*Caillard* et *Marcel Heuzey*) 746
Perfectionnements aux accumulateurs à formation naturelle (*L.-A.-H. Arnaud*) 746
Bloc d'alimentation totale, par accumulateurs à charge automatique, pour appareils de télégraphie et téléphonie sans fil (*Ignace de Marneffe*) 746
Bloc d'alimentation totale, par accumulateurs à charge automatique, pour appareils de télégraphie et téléphonie sans fil (*Ignace de Marneffe*) 746
Perfectionnements apportés dans l'établissement des accumulateurs, piles électriques, transportables et stationnaires (*M. Huguet*) 747
Lampe de mine électrique à accumulateur (*R. Hubert* et *A. Gillieaux*) 747
Dispositif de sécurité pour le branchement des accumulateurs électriques portatifs (*Compagnie générale d'Electricité*) 747
Fermeture de couvercle pour caisses de batteries électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 747
Dispositif pour le montage d'éléments d'accumulateurs électriques dans des caisses (*Compagnie générale d'Electricité*) 747
Montage d'accumulateurs électriques dans les caisses (*Compagnie générale d'Electricité*) 748
Bac de batterie d'accumulateur (*C.-H. Everett* et *G.-R. Carr*) 748
A propos des électrolytes spéciaux pour accumulateurs électriques au plomb 969

ACCUMULATEURS DIVERS. — Une réalisation industrielle de l'accumulateur plomb-zinc : l'accumulateur léger Pouchain (*Antoine*) 187
Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*L. Jumau*) 651, 696, 744, 786
Electrodes pour accumulateurs à électrolyte alcalin et leur fabrication (*Compagnie générale d'Electricité*) 749
Barres collectrices profilées en double T, en U ou autres pour la connexion des plaques en plusieurs pièces d'électrodes d'accumulateurs à électrolyte alcalin (*Compagnie générale d'Electricité*) 749
Procédé pour la production électrolytique de minces couches superposées de nickel et pour la séparation de celles-ci entre elles (*Compagnie générale d'Electricité*) 750
Procédé et appareil pour l'introduction de la masse active dans les électrodes tubulaires des accumulateurs alcalins (*Compagnie générale d'Electricité*) 749
Procédé pour la fabrication de flocons de nickel servant de matière d'addition à la masse des accumulateurs alcalins (*Compagnie générale d'Electricité*) 749
Electrodes pour accumulateurs Edison (*Société I.-G. Farbenindustrie Aktien-Gesellschaft*) 750
Accumulateur électrique (*E. Drouilly*) 750
Nouvel accumulateur alcalin (*Société des Accumulateurs fixes et de Traction*) 750
Couvercle avec joint pour batteries constituées par des accumulateurs à électrolyte alcalin destinées aux lampes des mines et autres (*Compagnie générale d'Electricité*) 786
Pièce moulée pour l'isolement des plaques d'accumulateurs alcalins, en particulier pour lampes de mines à deux éléments (*Compagnie générale d'Electricité*) 786
Couvercle avec joint pour batteries constituées d'accumulateurs à électrolyte alcalin pour lampes de mines et autres (*Compagnie générale d'Electricité*) 786
Connexion des tiges polaires des accumulateurs alcalins avec leur couvercle (*Compagnie générale d'Electricité*) 786
Dispositif de fixation des tôles isolantes entourant le groupe de plaques des accumulateurs alcalins (*Compagnie générale d'Electricité*) 786
Accumulateur électrique à électrolyte alcalin (*Compagnie générale d'Electricité*) 787
Accumulateur électrique à électrolyte alcalin et à électrode polaire positive contenant, comme masse active, des combinaisons oxygénées du nickel (*Compagnie générale d'Electricité*) 787
Batterie d'accumulateurs alcalins (*Compagnie générale d'Electricité*) 787
Accumulateur électrique à électrolyte alcalin et plaques positives à poches (*Compagnie générale d'Electricité*) 787
Perfectionnements aux accumulateurs (*Société Accumulateurs Edison*) 788
Bouchon à orifice d'échappement des gaz pour accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 788
Groupe de plaques doubles ou multiples pour accumulateurs à électrolyte alcalin (*Compagnie générale d'Electricité*) 789
Accumulateur zinc-plomb (*K. Nemeth* et *A. Szanto*) 789
Accumulateur électrique (*R.-E. Brenner*) 789
Electrode négative pour accumulateurs électriques (*A. Pouchain*) 789
Système de fonctionnement des accumulateurs électriques plomb-zinc (*A. Pouchain*) 789
Electrode négative pour accumulateurs électriques à base de zinc (*A. Pouchain*) 789
Electrolyte spécial pour accumulateur à plaque négative en zinc (Invention Orlandi) (*Société anonyme des Accumulateurs Monoplaque*) 790
Accumulateur électrique (*C. Bault*) 790
Accumulateur électrique (*Société Phosphates et Superphosphates de Tebbaka*) 790
Procédé de fabrication d'un accumulateur plomb-cuivre (*Société Forta Intreprinderi electro-mecanice*) 790
Accumulateur électrique (*L. Barosso*) 790
Perfectionnements dans les piles primaires et secondaires (*E. Dutt*) 791
Perfectionnements aux accumulateurs électriques (*L. Krieger*) 791
Perfectionnements aux piles et accumulateurs électriques (*A. Petit*) 792
Accumulateur à gaz (*Société Le Carbone*) 792
Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques (*F. Stane*) 792
L'accumulateur Drumm (*James-Joseph Drumm*) .. 796

APPLICATIONS DES ACCUMULATEURS. — Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents (*L. Jumau*) 651, 696, 744, 786
Procédé et appareils de recharge automatique des accumulateurs (*A.-G. Gallois*) 792
Limiteur de charge pour génératrices, plus spécialement applicables aux voitures automobiles (*L. Raynaud*) 793
Dispositif assurant le chargement rationnel des accumulateurs, notamment dans les véhicules automobiles (*Société anonyme des Aéroplanes G. Voisin*) 793
Séparateur d'acide spécialement destiné aux chambres de batteries d'accumulateurs électriques (*Compagnie générale d'Electricité*) 796
Séparateur d'acide pour locaux de batteries d'accumulateurs (*Compagnie générale d'Electricité*) 796

Transformation. — TRANSFORMATEURS. — Diagramme de fonctionnement d'un transformateur autorégulateur à enroulement mobile (*V. Genkin*) 13
Diagrammes vectoriels et repérage des bornes des transformateurs triphasés (*F. Fleck*) 299
Mesure des pertes dans le fer dans les transformateurs triphasés à trois noyaux (*R.-M.-M. Grant*). 336
La chute de tension dans les transformateurs à trois enroulements (*C. della Salda*) 437
Influence des tensions transitoires sur l'établissement des transformateurs de puissance (*K.-K. Palueff*) 1049

REDRESSEURS. CONVERTISSEURS. — Le fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique (*A. Stefanini*) 16
Conversion statique de fréquence et harmonique (*P. Vecchiacchi*) 58
A propos du fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique (*Robert Desoille*) 345
Quelques résultats d'essais des convertisseurs à balais liquides (*André Latour*) 487
Le redresseur à jet de mercure (*J. Hartmann*) 581
La puissance en courant continu du redresseur à cathode incandescente (*Peter Cornelius*) 821
Convertisseur de fréquence de 35 000 kilowatts constitué par un groupe moteur synchrone et génératrice synchrone (*I.-A. Terry*) 963
Mercury arc power rectifiers (Les redresseurs à vapeur de mercure), par *O.-K. Marti* et *H. Winograd* (Bibliographie) 970

Sur la rapidité de l'allumage des redresseurs à vapeur de mercure (*W. Krug*) 1006

Transmission. Distribution. — Généralité. — L'effet des capacités en série sur la stabilité des systèmes de transmission d'énergie (*E.-J. Allen* et *J.-L. Cautwell*) 338
Transmission networks and wave filters (Réseaux de transmission et filtres), par *T.-E. Shea* (Bibliographie) 386
The theory of electrical artificial lines and filters (La théorie des lignes électriques artificielles et des filtres), par *A.-C. Bartlett* (Bibliographie).... 387
Engineering Reports of the Joint Subcommittee of development and research of the National electric Light Association and the Bell Telephon System (Rapports du Sous-Comité pour l'avancement des recherches de la National electric Light Association et de la Bell Telephone System réunies) (Bibliographie) 426
Connaissances actuelles relatives à l'action des ondes à front raide sur les réseaux électriques (*G. Bourelly*) 456
La coordination de l'isolation des diverses parties d'un système de distribution d'énergie électrique. 544
Eiserne Gittermaste für Starkstrom-Freileitungen (Pylônes métalliques en treillis pour canalisations aériennes à courant fort), par *Wilhelm Taenzer* (Bibliographie) 554
L'emploi des supports en bois dans les lignes de transmission d'énergie électrique à très haute tension (*M. Roseau*) 576
Extension des réseaux ruraux d'électricité aux hameaux et fermes isolés (*Em. Uytborck*)..... 675
La théorie dynamique des machines à courant alternatif et le problème de la stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique (*W.-H. Ingram*) 863
Principles of electric power transmission by alterning currents (Principes de la transmission de l'énergie électrique par courants alternatifs), par *H. Waddicor* (Bibliographie) 1020

Lignes. Canalisations. Conducteurs. — Echauffement et intensités de courant admissibles dans les conducteurs nus installés à l'extérieur (*O.-R. Schurig* et *C.-W. Frick*)..... 32
Utilisation des isolateurs de traversée pour les mesures industrielles (*Giovani Silva*)..... 73
Un nouveau point de vue pour la détermination des qualités des câbles isolés sous plomb à haute tension (*Walter Schmid*)..... 127
Expériences relatives à la propagation d'ondes engendrées par surtensions artificielles sur des lignes de transmission d'énergie (*K.-B. McEachron, J.-G. Hemstreet* et *W.-J. Rudge*)..... 154
Effets de la pénétration de l'eau dans les câbles de transmission d'énergie à enveloppe de plomb (*E.-A. Beavis*) 218
High voltage cables (Les câbles à haute tension), par *P. Dunsheath* (Bibliographie)..... 298
Diagrammes des puissances dans les lignes de transmission d'énergie à longue distance (*A.-K. Kotelnikoff*) 307
Etude des formes à adopter pour les sections des pylônes en béton (*H. Claude*) 326
La méthode dite des constantes généralisées et son application à l'étude des lignes de transmission d'énergie (*V. Genkin*) 349
Une preuve d'application aux lignes de transmission du diagramme du cercle des moteurs d'induction (*F. Creedy*) 438
La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium-acier (*Fumio Shida* et *Joji Kameyama*) 526
Spécification et étude des câbles à haute tension aux Etats-Unis (*A. del Mar*)..... 584
Les câbles souterrains à haute tension en Angleterre (*T.-N. Rilei*) 668
Les conditions de coexistence des lignes d'énergie électrique et des lignes de télécommunication ou des canalisations souterraines (*E. Brylinski*).... 891
La coexistence des lignes d'énergie et des lignes de télécommunication (*J. Garczynski*)..... 894
Courant de retour (dans le sol et les canalisations) provenant d'installations à courant alternatif (*Friedrich Besig*) 917
Etude critique des théories sur le fil de terre (*L.-V. Bewley*) 964

Appareillage. Tableaux. — Essais à 220 000 volts d'interrupteurs à grilles « deïon » (*L.-W. Dyer*). 107
Dispositifs de garde munis de fusibles (*H.-H. Frey et E. M. Skipper*)..... 154
Coffrets pour petits moteurs (*C. Bresson*)..... 239
Un nouveau régulateur de température (*Léon Dubar*) 283
Extinction des arcs de grande longueur en courant alternatif (*J. Slepian*)..... 287
Essais d'anneaux de garde munis de fusibles (*J.-E. Clem*) 335
Nouveaux dispositifs de coupe-circuit infraudable à éléments fusibles interchangeables..... 374
Le parafoudre universel « corona » à chambre d'ionisation (*C. Franck*) 441
Progrès réalisés dans la technique de la construction des isolateurs sans ciment (*E. Alessandri*)..... 498
Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc (*B.-P. Baker* et *H.-M. Wilcox*)..... 542
Variation de la résistance des prises de terre traversées en permanence par un courant alternatif (*Georges Viel*) 611
Le fonctionnement des parafoudres à thyrite sous l'effet d'une onde de surtension propagée dans un circuit quelconque (*K.-B. McEachron* et *H.-G. Brinton*) 623
Limiteur de charge pour génératrices plus spécialement applicables aux voitures automobiles (*L. Raynaud*) 793
Dispositif assurant le chargement rationnel des accumulateurs, notamment dans les véhicules automobiles (*Société anonyme des Aéroplanes G. Voisin*) 793
Limiteur de décharge pour batteries (*E. Aumuller*). 793
Perfectionnements aux dispositifs de charge automatique des batteries d'accumulateurs au plomb (*Etablissements Iliyne-Berline, Varet et Cie*).... 793
Levier de contact pour bancs de charge d'accumulateurs (*Compagnie française auxiliaire des Mines*). 793
Combinateur rotatif permettant la mise en série ou en parallèle de batteries d'accumulateurs (*A. Pellicioni* et *Ignace de Marneffe*)..... 793
Perfectionnements aux moyens de recharge automatique de batteries d'accumulateurs (*Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston*) 794
Dispositif de court-circuitage automatique pour châssis de chargement des accumulateurs de lampes de mines (*Société Les Ateliers mécaniques*)..... 794
Dispositif pour la charge des batteries d'accumulateurs (*Société l'Eclairage des Véhicules sur Rails*) 794
Banc de charge d'accumulateurs (*Compagnie française auxiliaire des Mines*) 795
Limiteur de charge de batterie (*Etablissements Labinal*) 795

Die Relaissteuerungen der modernen Strahstromtechnik (La commande par relais dans la technique moderne des courants forts), par *Reinhold Rudenberg* (Bibliographie) 970
Système Brown-Boveri de commande à distance à sélecteurs (*E. de Mulinen*)..... 1014
Appareillage électrique haute tension, par *Charles Bresson* (Bibliographie) 1020

PROTECTION. — Essais des relais sélectifs Brown-Boveri dans un réseau en service normal (*A. Matthey-Doret* et *J. Stoecklin*)..... 153
Un système de protection sélective des lignes aériennes à haute tension (*L. Triau*)..... 213
Calcul relatif à la protection d'une ligne de transmission par conducteurs reliés à la terre (*Herbert-Bristol Dwight*) 667
Effets des surtensions dues à la foudre sur les machines rotatives et méthode de protection contre ces surtensions (*F.-D. Fielder* et *Edward Beck*). 834
La protection sélective (*André Jonnart*) 850
Progrès récents réalisés dans les systèmes de protection des lignes de transmission et de distribution d'énergie (*T.-W. Ross* et *H.-G. Bell*)..... 1011

CONSTRUCTION MECANIQUE ET ELECTRIQUE

Généralités. — Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement (*Mooris-Stone* et *J.-G. Ritter*)..... 18
Machines à bobiner les tores sans entrefer (*S. Held*) 207
Quelques rapports présentés au Congrès international de Mécanique générale (Liége, 1930)..... 330
Etat actuel de la théorie élémentaire des turbomachines (*Charles Hanocq*) 334
Etude du fonctionnement des turbomachines en mouvement varié (*A. Vandeghen*)..... 334
Progrès réalisés dans la technique de la construction des isolateurs sans ciment (*E. Alessandri*)..... 498
Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement (*H.-L. Whittemore*, *J.-S. Adelson* et *E.-O. Seaquist*) 528
Pertes d'énergie, diminution du couple et de la vitesse dans les transmissions par courroies et les paliers à billes (*R. Swyngedauw*)..... 595
Machine à empâter les plaques d'accumulateurs électriques (*Société nouvelle de l'Accumulateur Fulmen*) 654
Nouvelles méthodes de calcul de la puissance variable d'une installation de chauffage central fonctionnant en régime discontinu (*A. Nessi*)..... 713

Ouvrages. Annuaires. — Comment on devient ajusteur et monteur mécanicien, par *René Champly* (Bibliographie) 226
Formulaire des produits d'entretien et spécialités industrielles de droguerie, par *A. Chemist* (Bibliographie) 386
Filetage rapide pour le tourneur mécanicien. Système Stroscia, par *Rodolfo Stroscia* (Bibliographie) 388
Calcul et construction des grues, par *A. Nachtergal* (Bibliographie) 388
Forge, découpage, emboutissage, rivetage, estampage et soudure, étamage, zingage, plombage, par *René Champly* (Bibliographie) 425
Exécution des enroulements des machines triphasées, par *Maurice Le Cadre* (Bibliographie)..... 426
Propriétés générales des machines, par *L. Lecornu* (Bibliographie) 514

Normalisation. — Normalisations mises à l'enquête publique par le Comité de Normalisation de la Mécanique :
Représentation symbolique des rivets de charpente 193
Organes de transmission 193
Manivelles équilibrées et manettes de blocage.... 763
Normalisation des transformateurs de mesure et des appareils de mesure. Union des Syndicats de l'Electricité 257
— Voir aussi plus haut, aux généralités des Applications techniques et industrielles, p. VII.

Matériaux. — Propriétés des diélectriques (*R.-R. Benedict*) 17
Le problème des huiles isolantes en électrotechnique (*H. Weiss* et *T. Salomon*).....61, 97
Les propriétés du permalloy C..... 152

APPLICATIONS MECANIQUES DE L'ELECTRICITE

Machines motrices. — ELECTROAIMANTS. — Die Elektromagnete (Les électroaimants), par *Erich Jasse* (Bibliographie) 426

MOTEURS ÉLECTRIQUES. — Le diagramme du courant du moteur Boucherot à double cage à partir d'essais indirects (*E. Schwarzkopf*)..... 83
Coffrets pour petits moteurs (*C. Bresson*)..... 239
Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques, par *René Champly* (Bibliographie)..... 258
Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne (*Joseph-Maxime Pestarini*).....227, 260
Etude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée (*J. Froidevaux*) 389
A study of the induction motor (Une étude du moteur d'induction), par *F.-T. Chapman* (Bibliographie) 426
A propos de l'étude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée (*V. Genkin*) 593
Sur l'emploi des moteurs asynchrones en court-circuit (*J. Le Monnier*)..... 771
Dispositif automatique, système R. Planche, pour le démarrage des moteurs électriques..... 873
Les métadynes entre elles et leurs dérivées (*J.-M. Pestarini*) 813, 851, 900

Applications diverses. — L'électricité comme force motrice dans la ferme (*Emile Boquet*)..... 679

TRACTION ET LOCOMOTION

Généralités. — Emploi de moteurs à huile lourde sur voies ferrées et sur routes (*Arnold*) 717
Perfectionnements apportés dans la construction du matériel roulant sur voies ferrées et sur routes (*Kremer*) 717
Dispositif de traction électrique approprié pour l'alimentation en courant continu avec batterie d'accumulateurs ou en courant alternatif triphasé (*Maison Bréguet*) 793
Dispositif de récupération pour véhicules électriques à accumulateurs (*J. Sousedik*)..... 796
Le développement de la traction électrique par accumulateurs en Belgique (*J. Ryffranck* et *P. van Halteren*) 974

Traction sur rails. — Sur les frais incombant aux propriétaires d'embranchements industriels lors de l'électrification de la ligne principale du chemin de fer 40

L'aspect financier de l'application de la récupération d'énergie à la traction des chemins de fer métropolitains (*A. della Riccia*) 137
La commande électropneumatique système Bergmann pour unités multiples (*D. Denis*)..... 177
Automotrices à accumulateurs (*Lo Balbo*) 716
Etude comparée des chemins de fer d'intérêt local en souterrain et à la surface du sol (*Jayot*)..... 716
Comparaison des transports en commun : chemins de fer d'intérêt local, tramways et omnibus automobiles (*Nestrypke*) 716
Développement de l'équipement électrique du matériel roulant (moteurs suspendus, à grande vitesse, ventilés et compound) (*Werner*)..... 717
Expériences nouvelles relatives au freinage des voitures de tramways (*Pforr*)..... 717
Voies de tramways et structure de la plate-forme (*d'Alo*) 717
Méthodes et dispositifs d'alimentation en énergie d'un réseau de tramways électriques (*H. Coens* et *A. Allard*)..... 718
Blocage de la voie par signaux automatiques pour les exploitations de voies uniques (*Lange*)..... 718
Emploi de métaux légers dans les installations de lignes aériennes de traction (*Sekutowicz*)..... 718
Procédés et études pour faciliter le service des voyageurs (*L. Bacqueyrisse*)..... 718
Etude sur les phénomènes de corrosion électrolytique (*Podoski*) 718
Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Italie (*Bianchi*)..... 921

Traction sur route. — Les sociétés d'exploitation de véhicules électriques, leur but, leur activité, les résultats obtenus (*Marc Vincent*)..... 930

COMMUNICATIONS A DISTANCE

Généralités. — Analyse harmonique des ondes électriques avec le voltmètre thermoionique (*Chauncey-Guy Suits*) 270
Transmission networks and wave filters (Réseaux de transmission et filtres), par *T.-E. Shea* (Bibliographie) 386
The theory of electrical artificial lines and filters (La théorie des lignes électriques artificielles et des filtres), par *A.-C. Bartlett* (Bibliographie)..... 387
Les conditions de coexistence des lignes d'énergie électrique et des lignes de télécommunication ou des canalisations souterraines (*E. Brylinski*).... 891
La coexistence des lignes d'énergie et des lignes de télécommunication (*J. Garczynski*)..... 894

Téléphonie. — Engineering Reports of the Joint Subcommittee of development and research of the National electric Light Association and the Bell Telephone System (Rapports du Sous-Comité pour l'avancement des recherches de la National electric Light Association et de la Bell Telephone System réunies) (Bibliographie) ..... 426.

Radiocommunications. — Le fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique (*A. Stefanini*) 16
Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piezoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion (*E.-L. Hall*). 92
Suppression des bourdonnements dans les récepteurs radiotéléphoniques alimentés par un réseau de distribution (*B.-F. Miessner*)..... 313
A critical review of litterature on amplifiers for radio reception (Etude critique de la littérature technique relative aux amplificateurs pour réceptions radioélectriques) (Bibliographie) 468
Manuel de réception radioélectrique, par *Pierre David* (Bibliographie) 468
Cours de T.S.F., par *Michel Adam* (Bibliographie).. 634
Perfectionnements à la construction des batteries de tension pour téléphonie sans fil et tous autres usages (*Compagnie générale d'Electricité*)..... 745
Dispositif de solidarisation permettant le groupement de plusieurs batteries d'accumulateurs électriques en un seul bloc pour téléphonie sans fil et autres applications (*F. Livon*) 746
Bloc d'alimentation totale, par accumulateurs à charge automatique, pour appareils de télégraphie et téléphonie sans fil (*Ignace de Marneffe*)..... 746
Radiodiffusion en France de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis (*Charles Platrier*) 752
Radiotechnik : Die elektrischen Wellen (Radiotechnique : Les ondes électriques), par *F. Kiebitz* (Bibliographie) 802

Divers. — Le guidage par câble et le guidage sans câble des navires et des avions (*C. Bourgonnier*).. 19
Présentation d'un appareil d'éclairage pour films sonores (*L. Dunoyer*)..... 440
Photocells and their applications (Les cellules photoélectriques et leurs applications), par *W.-K. Zworykin* et *E.-D. Wilson* (Bibliographie) 594
Orgue électrique (*E. Coupleux* et *A. Givelet*)..... 710
The selenium cell, its properties, and applications (Les propriétés et les applications de la cellule au sélénium), par *G.-P. Barnard* (Bibliographie).... 884
L'orgue électronique (*A. Givelet*) 895

ECLAIRAGE

La classification des appareils d'éclairage d'après la répartition du flux lumineux (*J. Wetzel*)..... 95
Intensité lumineuse moyenne conique. Applications à l'éclairage électrique des surfaces circulaires (*H. Pécheux*) 429, 610
Présentation d'un appareil d'éclairage pour films sonores (*L. Dunoyer*) 440
L'éclairage des voies publiques de la ville de Toulouse (*Maurice Daignan*) 565
Eclairage électrique et utilisations ménagères de l'électricité dans les réseaux ruraux (*M. Porchet*) 679
Lampe à accumulateur particulièrement prévue pour les motocyclettes (*Compagnie générale d'Electricité*) 709
Batterie d'accumulateurs pour l'éclairage des motocyclettes et autres applications (*Caillard* et *Marcel Heuzey*) 746
Lampe de mine électrique à accumulateur (*R. Hubert* et *A. Gillieaux*)..... 747
Perfectionnements apportés aux lampes de poche et autres lampes à accumulateurs (*C.-E. O'Keenan*) 795
La propagande générale d'éclairage de quelques pays appartenant à l'Union internationale (*Ed. Imbs*). 923
Le développement de l'éclairage électrique au Japon et la propagande exercée en sa faveur (*Denki Kyokai*) 927
L'Association espagnole d'Eclairagisme aux exposition de Barcelone et de Séville (*Camara official de Productores y Distribuidores de Electricidad*).... 928
L'éclairagisme (*Axel Bourlard*) 972
Les particularités de la décharge électrique dans les gaz rares au point de vue de leur application à l'éclairage (*Marcel Laporte*) 1038

APPLICATIONS THERMIQUES

Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement (*Morris Stone* et *J.-G. Ritter*) 18
Un nouveau régulateur de température (*Léon Dubar*) 283
Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement (*H.-L. Whittemore, J.-S. Adelson* et *E.-O. Seaquist*) 528
L'hydrogène atomique. Application à la soudure des métaux (*Jean Brillié* et *Ernest Morlet*)..... 620
L'électricité comme moyen de chauffage dans l'exploitation agricole (*G. Boukaert*)..... 680
Schaltung und Regelung elektrischer Heizeinrichtungen (Montage et réglage des dispositifs de chauffage électrique), par *W. Schulz* (Bibliographie).. 802
Expérience acquise aux Pays-Bas avec le chauffage électrique des écoles (*Bureau central de l'Association de Directeurs d'Entreprises électriques des Pays-Bas*) 929

APPLICATIONS A LA CHIMIE

Etude sur l'électrodéposition des métaux (*Donald-B. Keyes* et *Sherlock Swann*)..... 174
Les méthodes modernes de nickelage (*Marcel Ballay*) 182
Procédé pour la production électrolytique de minces couches superposées de nickel et pour la séparation de celles-ci entre elles (*Compagnie générale d'Electricité*) 750

APPLICATIONS DIVERSES

Les installations électriques des ateliers de Southall de l'Associated Equipment Company..... 153
L'électricité à la ferme (*R.-H. Drilhon*)..... 677
L'emploi de l'électricité dans les fermes de l'Idaho (*Hobard Beresford*) 678
Eclairage électrique et utilisations ménagères de l'électricité dans les réseaux ruraux (*M. Porchet*). 679
Applications de l'électricité en agriculture. Discussion économique sommaire du labourage électrique (*Leopoldo-Manso Diaz*)..... 681
La motoculture électrique (*A. Alpe*)..... 681
Le labourage électrique par treuil et câble de traction. Organisation d'un centre de labourage électrique (*J.-H. Sourisseau*)..... 681
Orgue électrique (*E. Coupleux* et *A. Givelet*)..... 710
L'orgue électronique (*A. Givelet*)..... 895
La propagande auprès des abonnés, y compris diverses applications de l'électricité, les progrès de l'éclairagisme, les véhicules à accumulateurs (*Casimir Straszewski*) 924
Le parti à tirer des réseaux ruraux à moyenne tension (*Maurice Bitouzet*)..... 925
Comment assurer le développement de la consommation domestique d'électricité (*A. Antoine*).... 926
Les nouvelles applications de l'électricité à l'agriculture aux Pays-Bas (*Bureau central de l'Association de Directeurs d'Entreprises électriques des Pays-Bas*) 972

MESURES ET ESSAIS

Généralités. — Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures : Réunion de juin 1930..... 121
A propos des équations aux dimensions des grandeurs électriques et magnétiques (*Kalantaroff*). 161
Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures (Tome XVIII) (Bibliographie). 162
Sur les unités magnétiques. Un plaidoyer pour la logique (*A. Blondel*) 555
Recommandations de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques 633
Unités et définitions adoptées par l'Assemblée plénière de la Commission électrotechnique tenue en Scandinavie en 1930 (*A.-E. Kennelly*)..... 719
Observations de M. E. Brylinski sur les décisions de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques (*E. Brylinski*). 722
Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927 (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927), par *J. Wallot* (Bibliographie) 764
Le henry et les autres unités magnétiques pratiques (*André Blondel*) 1033
Sur un système d'unités mécaniques électriques et magnétiques (*E. Brylinski*) 1037

Mesures électriques. — Normalisation des transformateurs de mesure et des appareils de mesure. Union des Syndicats de l'Electricité..... 257
Commercial alternating currents measurements (Mesures en courant alternatif), par *G.-W. Stubbings* (Bibliographie) 347
Alternating current bridge methods (Emploi des méthodes de pont en courant alternatif), par *B. Hague* (Bibliographie) 387
Utilisation des isolateurs de traversée pour les mesures industrielles (*Giovani Silva*)..... 73
Mesures d'impédance pour des bobines utilisées avec superposition de courant alternatif et continu (*Masatsug Kobayashi*) 357
Analyse harmonique des ondes électriques avec le voltmètre thermoionique (*Chauncey-Guy Suits*). 270
La mesure des petites différences de potentiel continues et des courants dans des circuits de grande résistance, par l'emploi des tubes à vide (*W.-B. Nottingham*) 355
Mesure de la constante diélectrique et de l'indice de réfraction de l'eau et des solutions aqueuses de chlorure de potassium aux fréquences élevées (*F.-H. Drake, G.-W. Pierce* et *M.-T. Dow*) 93
Mesure des constantes diélectriques des milieux conducteurs (*J. Wyman*) 173
Mesure de l'intensité des champs magnétiques périodiques de haute fréquence (*R.-H. Mortimore*). 610
Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piézoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion (*E.-L. Hall*) 92
Un nouveau point de vue pour la détermination des qualités des câbles isolés sous plomb à haute tension (*Walter Schmid*) 127
Echelles thermoélectriques des températures (*W.-F. Roeser*) 135
Les méthodes électriques de pesée des atomes (*L. Bruninghaus*) 195
L'étalonnage de la chambre à ionisation en forme de dé (*L.-S. Taylor* et *G. Singer*) 780
Les transformateurs de mesure (*J.-G. Wellings* et *C.-G. Mayo*) 416
Les organes de pivotage des compteurs d'électricité (*G. Grunberg*) 273
La vérification et l'entretien des compteurs (*H.-S. Hallo*) 977
Considérations sur les limites de précision de la mesure de l'énergie électrique en haute tension (*Renesson*) 978
La vérification et l'entretien des compteurs (*P. Masa*) 978

L'organisation industrielle du service de mesures d'une grande entreprise d'électricité (*Giacomo Fracanzani*) 979
Règlements officiels concernant la vérification et le poinçonnage des compteurs d'électricité et des transformateurs de mesure considérant surtout les prescriptions en vigueur en Pologne (*Joseph Rzasnicki*) 980
L'organisation du service des compteurs dans les usines centrales d'électricité (*Boleslaw Jablovski*) 980
La vérification et l'entretien des compteurs (*Albert Derdeyn*) 981

Essais électriques. — Le diagramme du courant du moteur Boucherot à double cage à partir d'essais indirects (*E. Schwarzkopf*) 83
Electrode en forme de borne condensateur empêchant l'apparition des étincelles rampantes dans les essais de rigidité diélectrique (*Matthias*)..... 251
Mesure des pertes dans le fer dans les transformateurs triphasés à trois noyaux (*R.-M.-W. Grant*). 336
Essais en usine d'un turboalternateur de 43 750 kilovolts-ampères 583
La station d'essais à deux millions de volts de la Porzellanfabrik Ph. Rosenthal à Selb (*K. Draeger*) 663

Mesures optiques. — Les photomètres modernes pour la mesure de l'éclairement et leur emploi (*J.-W.-T. Walsh*) 458
Photomètre photoélectrique à lecture directe pour l'essai des lampes à incandescence (*G.-T. Winch*) 1041

Divers. — La mesure du débit en conduite forcée par diaphragmes en mince paroi (*Albert Schlag*). 331
Sur la mesure des débits en conduite forcée par la méthode des tuyères (*Albert-J. Jadot*)..... 331
L'emploi des dynamomètres de torsion pour la détermination de la puissance des machines (*F. Bouny*) 335
Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines), par *A. Tenot* (Bibliographie) 514
Note sur la difficulté présentée par les mesures au moulinet (*A. Foch* et *Jean Laurent*)..... 673

ACCIDENTS DUS A L'ELECTRICITE

Les accidents sur les réseaux aériens à moyenne tension (*R. Polack*) 928
Tension non dangereuse (*H. Lohr*) 1021
Sur la tension non dangereuse des courants électriques (*Féraud*) 1022

Economie sociale, industrielle, financière, etc.

TRAVAIL. TRAVAILLEURS

Réglementation. — La réglementation du titre d'ingénieur 219
Arrêt de la Cour de Cassation du 2 mai 1930 concernant les amendes encourues pour contraventions à la législation sur la durée du travail.... 296
Loi du 4 août 1930 modifiant les articles 61, 62, 63, 64, 69, 70 c, 73 et 73 b, du titre III, livre premier, du Code du Travail, chapitre IV (de la saisie-arrêt et de la cession des salaires et petits traitements) 383
Sur les traitements des fonctionnaires du Bureau international du Travail 919

Accidents et maladies. — Arrêt du 14 mai 1930 de la Cour de Cassation concernant le paiement de l'indemnité journalière attribuée pour accident de travail 344

Assurances sociales. — Sur les mesures envisagées en faveur des assujettis à la Caisse des Retraites ouvrières et paysannes qui ne sont pas assujettis à la loi sur les assurances sociales 160
Sur les subventions accordées aux anciens combattants pour la constitution d'une retraite 296
Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux assurés à la Caisse nationale des Retraites 384
Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux pensionnés au titre militaire..... 552
Sur la situation au point de vue des assurances sociales du personnel des entreprises de distribution d'énergie électrique n'ayant pas établi un statut de leur personnel 631
Sur la situation au point de vue des assurances sociales des assurés obligatoires de la loi de 1910 sur les retraites ouvrières 632
Sur la non-extension aux artisans des villes des avantages accordés aux artisans ruraux pour l'inscription facultative aux assurances sociales 632
Les assurances sociales (Commentaire pratique; la loi et les décrets in-extenso) (Bibliographie).... 634
Sur les cotisations aux assurances sociales des ouvriers algériens travaillant temporairement en France 800
Sur la proportion des frais médicaux et pharmaceutiques devant être remboursée aux assujettis aux assurances sociales 919
Sur le cas où les salariés refusent de verser aux employeurs leurs cotisations aux assurances sociales 920
Sur la contribution patronale aux assurances sociales sur le salaire payé à un ouvrier ayant 65 ans révolus 920

Apprentissage. Orientation professionnelle. — Comité national de l'Organisation française : Enquête concernant les aptitudes physiques et physiologiques que doit posséder un contremaître.. 225

RICHESSE PUBLIQUE ET PRIVEE

Richesse nationale. — Les prestations en nature, le plan Dawes et le plan Young 753

Richesse privée. — Les miracles du crédit, par *Emile Mireaux* (Bibliographie) 634

Propriété scientifique et industrielle. — Sur la non-imposition comme revenus des dommages et intérêts alloués à un inventeur comme contrefaçon 40
Décret du 5 octobre 1930 promulguant les conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925 en vue de modifier les conventions antérieures de Paris et de Madrid concernant le dépôt des dessins ou modèles industriels 800

Le projet de réforme de la loi sur les marques de fabrique (*Fernand-Jdcq*) 835
Réglementation concernant les taxes internationales d'enregistrement des marques de fabrique ou de commerce 839
Arrêté du 20 octobre 1930 rapportant l'arrêté du 7 mai 1915 relatif à l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle des enveloppes doublés spéciales pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles..... 839

Finances publiques. Impôts et taxes. — Généralités. — Sur la procédure des réclamations en matière de contributions directes 159
Sur les dépenses pouvant être déduites du traitement pour le calcul des impôts 384
Sur la non-possibilité de retrancher du revenu général la taxe sur les automobiles 840

Contribution des patentes. — Sur la patente spéciale des fournisseurs aux administrations publiques 840

Taxes sur les valeurs mobilières. — Arrêt de la Cour de Cassation déclarant non passibles de l'impôt les sommes reçues par les porteurs de parts de fondateur pour le rachat de ces parts.. 39
Sur l'exonération de l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières 159

Taxe sur le chiffre d'affaires et sur les bénéfices industriels et commerciaux. — Sur la déduction des bénéfices industriels de la valeur locative des immeubles appartenant à l'industriel 39
Sur les délais dans lesquels doit être acquittée la taxe sur le chiffre d'affaires 39
Sur la non-imposition comme revenus des dommages et intérêts alloués à un inventeur pour contrefaçon 40
Arrêt du Conseil d'Etat du 28 février 1930 concernant l'amende encourue pour refus de communication de la comptabilité commerciale 295
Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux des exercices clos pendant le premier trimestre 1930 296
Sur le calcul des impôts frappant les sociétés à responsabilité limitée et leurs gérants 632
Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux sur les excédents de recettes provenant de la vente de l'énergie électrique 800
Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices dus par les sociétés dont l'exercice est à cheval sur deux années 840
Sur la non-possibilité d'imputer sur les bénéfices les pertes antérieures lorsque celles-ci ont été comblées par une réduction du capital social.... 920

AGRICULTURE

Arrêté du 7 juin 1930 relatif à l'application des articles 182 et 183 de la loi de finances du 16 avril 1930 (électrification rurale) 159

INDUSTRIE

Généralités. — Sur les frais incombant aux propriétaires d'embranchements industriels lors de l'électrification de la ligne principale de chemin de fer 40
Annuaire de la production métallurgique et mécanique de Lyon et de la région (Bibliographie). 82
Quelques considérations économiques et financières sur la situation de l'industrie française (*Pierre Azaria*) 109
Conférences d'actualités scientifiques et industrielles (année 1929) (Bibliographie) 164
La loi du 1er mai 1930 sur le régime des sociétés par actions (*Paul Bougault*) 381
La désignation des pièces détachées et la question des références (*Fernand-Jacq*) 421
L'art de bâtir une maison agréable et saine, par *Edmond Marcotte* (Bibliographie) 802

Industrie électrique. — Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise. Arrêt du Conseil d'Etat du 10 juillet 1930 (*Paul Bougault*) 547
La révision des baux de force motrice des cours d'eau (*Achille Mestre*) 587
Un programme économique d'électrification pour l'Europe (*Ernst Schonholzer*) 759
Application rigoureuse de la loi du 27 février 1925 à une demande de relèvement de tarifs. (Arrêt du Conseil d'Etat du 11 juillet 1930) (*Paul Bougault*) 797
Arrêt du 4 novembre 1930 de la Cour de Cassation fixant la juridiction compétente en matière d'indemnités pour implantation de pylônes dans les propriétés privées 919
Les sociétés d'exploitation de véhicules électriques, leur but, leur activité, les résultats obtenus (*Marc Vincent*) 930

COMMERCE

Commerce extérieur. — Sur les formalités à remplir pour recevoir en franchise les marchandises exportées puis retournées à l'expéditeur 40
Importations et exportations françaises pendant les six premiers mois de l'année 1930 (*J. Reyval*). 499
Importations et exportations françaises pendant les neuf premiers mois de l'année 1930 (*J. Reyval*). 1051

Divers. — Guide formulaire pour la vente amiable des fonds de commerce à l'usage des vendeurs, acquéreurs, intermédiaires, par *Gaston Préau* (Bibliographie) 388

Sociétés, Groupements, Personnalités

SOCIETES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Académie des Sciences. — Ampoules à rayons X du type Coolidge fonctionnant sous la tension de 400 000 volts (*A. d'Arsonval*) 312
Sur l'obtention d'hydrogène très pur et en quantités notables à l'aide d'un osmorégulateur électrolytique à palladium (*Horia Hulubei*) 486
Action mécanique exercée sur un conducteur par les ondes électromagnétiques (*Suzanne Husson*).... 563
Sur l'utilisation à la production de l'énergie de la différence de tension de la vapeur d'eau émise à la même température par l'eau douce des fleuves et l'eau salée des mers (*C. Raveau*) 609
A propos de l'utilisation des fleuves à leur embouchure. Rectification (*C. Raveau*) 976

Orgue électrique (*E. Coupleux* et *A. Givelet*).... 710
Radiodiffusion en France de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis (*Charles Platrier*) 752
Expériences sur les conduites de l'usine de Miègebat (*C. Camichel, J. Leclerc du Sablon* et *L. Escande*) 1005
Sur un système d'unités mécaniques, électriques et magnétiques (*E. Brylinski*) 1037

Société française de Physique. — Appareils producteurs de rayons X, intenses et monochromatiques, de très grande longueur d'onde. Tube à rayons X à potentiels échelonnés fonctionnant sous haute tension (*F. Holweck*) 271
Présentation d'un appareil d'éclairage pour films sonores (*L. Dunoyer*) 440

Société des Ingénieurs civils de France. — La réglementation du titre d'ingénieur 219
Séance du 10 octobre 1930. — Nouvelles méthodes de calcul de la puissance variable d'une installation de chauffage central fonctionnant en régime discontinu (*A. Nessi*) 713
Nouvelle théorie du tirage naturel, prévision et fonctionnement d'une cheminée accouplée à un circuit de chauffage (*M. Véron*) 713

Société hydrotechnique de France. — Mémoires présentés :
Les expériences de Beauvert sur les tuyères et la similitude hydrodynamique (*R. Bourgeat, P. Leroux* et *E. Jouguet*) 226
Etude des coups de béliers dans les canalisations de faibles longueurs et de petits diamètres à l'aide d'un enregistreur piézoélectrique à lame de quartz (*Boullé* et *A. Langevin*) 226
Abaque pour le calcul des conduites de section circulaire (*Barillon* et *Spronk*) 226
Note sur la répartition des vitesses dans un canal à profil complexe (*V.-M. Hégly*) 673
Note sur la difficulté présentée par les mesures au moulinet (*A. Foch* et *Jean Laurent*)..... 673
Enquête sur les débits de crue (*Coutagne*)..... 673
Contrôle hydrologique d'un bassin (*Coutagne*)..... 673

Société française des Electriciens. — Les méthodes modernes de nickelage (*Marcel Ballay*) 182
Une réalisation industrielle de l'accumulateur plomb-zinc : l'accumulateur léger Pouchain (*Antoine*) 187
La semaine de Discussions 425
Séance du 8 novembre 1930. — La foudre globulaire (*E. Mathias*)..... 761
La septième semaine de Discussions 763
La septième Semaine de Discussions. — Allocution de M. Parodi 881
Séance du 6 décembre 1930. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Italie (*Bianchi*) 921
Une visite à l'usine génératrice thermique de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité 1018

Institution of electrical Engineers. — Effets de la pénétration de l'eau dans les câbles de transmission d'énergie à enveloppe de plomb (*E.-A. Beavis*) 218
Les transformateurs de mesure (*J.-G. Wellings* et *C.-G. Mayo*) 416
Le redresseur à jet de mercure (*J. Hartmann*)..... 581
Progrès récents réalisés dans les systèmes de protection des lignes de transmission et de distribution d'énergie (*T.-W. Ross* et *H.-G. Bell*)..... 1011
Photomètre photoélectrique à lecture directe pour l'essai de lampes à incandescence (*G.-T. Winch*) 1041

Institute of Radio Engineers. — Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piézoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion (*E.-L. Hall*) 92
Analyse harmonique des ondes électriques avec le voltmètre thermoionique (*Chauncey-Guy Suits*).. 270
Suppression des bourdonnements dans les récepteurs radiotéléphoniques alimentés par un réseau de distribution (*B.-F. Mivssner*) 313

Franklin Institute. — La mesure des petites différences de potentiel continues et des courants dans des circuits de grande résistance, par l'emploi des tubes à vide (*W.-B. Nottingham*) 355
Le problème du mécanisme de la décharge par étincelles (*L.-B. Loeb*) 403
La décharge en couronne (*H.-A. Gould*) 484
La conduction électronique et l'ionisation dans des champs électriques et magnétiques croisés (*N. Minorsky*) 562
La théorie dynamique des machines à courant alternatif et le problème de la stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique (*W.-H. Ingram*) 863
La chute de potentiel entre strates dans la décharge électrique traversant l'hydrogène raréfié (*J. Zeleny*) 907

American Institute of electrical Engineers. — Propriétés des diélectriques (*R.-R. Benedict*) 17
Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement (*Morris Stone* et *J.-G. Ritter*) 18
Expériences relatives à la propagation d'ondes engendrées par surtensions artificielles sur des lignes de transmission d'énergie (*K.-B. McEachron, J.-G. Hemstreet* et *W.-J. Rudge*) 154
Dispositifs de garde munis de fusibles (*H.-H. Frey* et *E.-M. Skipper*) 154
Extinction des arcs de grande longueur en courant alternatif (*J. Slepian*) 287
La ventilation d'alternateurs à pôles saillants (*Carl-J. Fechheimer*) 374
Une preuve d'application aux lignes de transmission du diagramme du cercle des moteurs d'induction (*F. Creedy*) 438
L'emploi de barres générales de protection au poste de sectionnement de Brunot Island de la Duquesne Light Company (*R.-M. Stanley* et *F.-C. Hornibrook*) 459
Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc (*B.-P. Baker* et *H.-M. Wilcox*) 542
La coordination de l'isolation des diverses parties d'un système d'énergie électrique 544
Compensateurs synchrones de 25 000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur (*H.-A. Ricker, J.-R. Dunbar* et *R.-E. Dau*) 544
Le phénomène de couronne dans l'air (*Sigmund-K. Waldorf*) 561
Calcul relatif à la protection d'une ligne de transmission par conducteurs reliés à la terre (*Herbert-Bristol Dwight*) 667
Théorie générale des machines électriques (*Gabriel Kron*) 752
Effets des surtensions dues à la foudre sur les machines rotatives et méthodes de protection contre ces surtensions (*F.-D. Fielder* et *Edward Beck*) 834
Etude critique des théories sur le fil de terre (*L.-V. Bewley*) 964

Influence des tensions transitoires sur l'établissement des transformateurs de puissance (*K.-K. Palueff*) 1049

Institute of electrical Engineers of Japan. — Mesures d'impédance pour des bobines utilisées avec superposition de courant alternatif et continu (*Masatsug Kobayashi*) 357
La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium-acier (*Fumio Shida* et *Joji Kameyama*) 526

National electric Light Association et Bell Telephone System réunies. — Engineering Reports of the Joint Subcommittee of development and research of the National electric Light Association and the Bell Telephone System (Rapport du Sous-Comité pour l'Avancement des Recherches) (Bibliographie) 426

COMITES. COMMISSIONS

Bureau international des Poids et Mesures. — Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures (Tome XVIII) (Bibliographie) 162

Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures. — Réunion de juin 1930. — Rapport de la Sous-Commission des Etalons photométriques (*Jouaust*) 123
Rapport de la Sous-Commission des Unités électriques (*Mme Foehringer*) 124

Comité des Unités et des Symboles. — Verhandlungen des Auschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927 (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927), par *J. Wallot* (Bibliographie). 764

Commission électrotechnique internationale. — Septième assemblée plénière (Compte rendu sommaire) 81
Recommandations concernant les unités magnétiques 633
Unités et définitions adoptées par l'Assemblée plénière tenue en Scandinavie en 1930 (*A.-E. Kennelly*) 719
Observations de M. E. Brylinski sur les décisions de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques (*E. Brylinski*) 722

Comité consultatif international des Commmunications téléphoniques à grande Distance. — Rappel de quelques décisions prises à la session de juin 1928 891

Commission mixte internationale pour les Expériences relatives à la Protection des Lignes téléphoniques et des Canalisations souterraines. — Travaux des sessions d'avril et octobre 1929.... 392

Comité de Normalisation de la Mécanique. — Session de juin 1930 41
Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation : publications de nouvelles normes.... 193
Mise à l'enquête publique des projets français de normalisation des ajustements 297
Les règles générales suivies par les organismes français de normalisation pour assurer l'homogénéité de leurs normes 375
Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation 553, 922
Mise à l'enquête publique de divers projets de normalisation. Manivelles équilibrées. Manettes de blocage 763

Comité supérieur de Normalisation. — Décret instituant un Comité supérieur de Normalisation.. 37

Commission permanente de Standardisation — Réorganisation de la Commission permanente de Standardisation 1

Comité national de l'Organisation française. — Enquête concernant les aptitudes physiques et physiologiques que doit posséder un contremaître.. 225

CONGRES. CONFERENCES

Congrès international de Mécanique générale (Liége, 1930). — La normalisation (*Pierre Blanchet*), 330, 331
Analogies électriques mécaniques (*Max Cosyns*).... 331
Note sur la théorie des coups de bélier (*L. Bergeron*) 331
La mesure du débit en conduites forcées par diaphragmes en mince paroi (*Albert Schlag*) 331
Sur la mesure des débits en conduite forcée par la méthode des tuyères (*Albert-J. Jadot*) 331
Note sur les courbes caractéristiques des turbines hydrauliques (*L. Bergeron*) 332
Considérations sur la similitude (*C. Camichel*).... 332
Les turbines hydrauliques à grande puissance pour basses chutes (*Ernest Hahn*) 332
La chaudière Atmos (*Ehlinger*) 332
La chaudière Benson (*L. Herry*) 333
Répartition des charges sur les turboalternateurs à haute pression fonctionnant en parallèle (*J. Berthelier* et *A. Vandeghen*)..... 333
Turbines à vapeur à très haute pression (*Flatt*).... 333
La turbine à vapeur Oerlikon dans les tendances modernes (*J. Karrer*) 333
Moteur Diesel à injection mécanique (*Paul Dumanois*) 334
Evolution du gros moteur à gaz en Belgique (*H. Lesueur*) 334
L'influence de la sursaturation sur le rendement thermique des installations à deux fluides utilisant de la vapeur de mercure et de la vapeur d'eau (*W.-J. Kearton*) 334
Etat actuel de la théorie élémentaire des turbomachines (*Charles Hanocq*) 334
Etude du fonctionnement des turbomachines en mouvement varié (*A. Vandeghen*) 334
Transmission du mouvement par câbles du système Johann Ovrebek (*A.-R. Holm*) 334
L'emploi des dynamomètres de torsion pour la détermination de la puissance des machines (*F. Boung*) 335

Congrès international du Génie rural (Liége, 1930). — Extension des réseaux ruraux d'électricité aux hameaux et fermes isolés (*Em. Uytborck*) 675
Commentaires sur les statistiques de consommation d'énergie dans les régions rurales (*P. Sohie*) 676
L'électricité à la ferme (*R.-H. Drilhon*) 677
L'emploi de l'électricité dans les fermes de l'Idaho (*Hobart Beresford*) 678
Eclairage électrique et utilisations ménagères de l'électricité dans les réseaux ruraux (*Porchet*).. 679
L'électricité comme force motrice à la ferme (*Em. Boquet*) 679
L'électricité comme moyen de chauffage dans l'exploitation agricole (*G. Boukaert*) 680
Applications de l'électricité en agriculture. Dis-

cussion économique sommaire du labourage électrique (*Leopoldo-Manso Diaz*) 681
La motoculture électrique (*A. Alpe*) 681
Le labourage électrique par treuil et câble de traction. Organisation d'un centre de labourage (*J.-H. Sourisseau*) 681

Congrès de l'Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles (29 juin-6 juillet 1930). — Etude comparée des chemins de fer d'intérêt local en souterrain et à la surface du sol (*Jayot*)715, 716
Comparaison des transports en commun : chemins de fer d'intérêt local, tramways et omnibus automobiles (*Nestrypke*) 716
Automotrices à accumulateurs (*Lo Balbo*)..... 716
Emploi de moteurs à huile lourde sur voies ferrées et sur routes (*Arnold* et *Eichelhardt*) 717
Développement de l'équipement électrique du matériel roulant (moteurs suspendus, à grande vitesse, ventilés et compound) (*Werner*) 717
Perfectionnements apportés dans la construction du matériel roulant sur voies ferrées et sur routes (*Kremer*) 717
Expériences nouvelles relatives au freinage des voitures de tramways (*Pforr*) 717
Voies de tramways et structure de la plateforme (*d'Alo*) 717
Blocage de la voie par signaux automatiques pour les exploitations de voies uniques (*Lange*) 718
Emploi de métaux légers dans les installations de lignes aériennes (*Sekutowicz*) 718
Méthodes et dispositifs d'alimentation en énergie d'un réseau de tramways électriques (*H. Coens*). 718
Procédés et études pour faciliter le service des voyageurs (*L. Bacqueyrisse*) 718
Etude sur les phénomènes de corrosion électrolytique (*Podoski*) 718

Congrès de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930). — Discours de MM. Lechien, van Caeneghem et E. Genissieu 765
Perfectionnements apportés à l'équipement des usines génératrices thermiques 803
La permanence du service 843
Mise à la terre du neutre dans les réseaux à haute et à basse tension 885
La marche en parallèle des usines génératrices.. 887
Coexistence des lignes de transmission d'énergie électrique et des lignes de télécommunication.. 891
La propagande générale d'éclairage 923
Propagande auprès des abonnés 924, 971
Les facteurs de diversité et d'utilisation : leur influence sur l'exploitation technique et commerciale des réseaux de distribution 976
Vérification et entretien des compteurs d'électricité. 977
Régularisation de la charge des usines génératrices d'énergie électrique 982
Accidents causés par l'électricité 1021
Tarification de l'énergie 1024
La statistique internationale de la production et de la distribution d'énergie électrique 1031
A propos du Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (septembre 1930) 883

Conférences. — La deuxième Conférence mondiale de l'Energie (Berlin, 1930) 841

SOCIETES ET GROUPEMENTS PROFESSIONNELS

Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique. — Congrès de Bruxelles (4-14 septembre 1930). 257, 465, 803, 843, 885, ... 923, 971, 1021
Assemblée générale de 1930 467
Congrès de Bruxelles (septembre 1930). — Résolution relative aux prix de revient et de vente de l'énergie électrique 770
Discours de M. Ulrich 883

Union des Syndicats de l'Electricité. — Normalisation des transformateurs de mesure et des appareils de mesure 257

Union internationale de Tramways, de Chemins de fer d'Intérêt local et de Transports publics automobiles. — Congrès de Varsovie, 29 juin, 6 juillet 1930 715

INSTITUTIONS DIVERSES

Bureau of Standards. — Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piezoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion (*E.-L. Hall*) 92
Echelles thermoélectriques des températures (*W.-F. Roeser*) 135
Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement (*H.-L. Whittemore, J.-S. Adelson* et *E.-O. Seaquist*) 528
L'étalonnage de la chambre à ionisation en forme de dé (*L.-S. Taylor* et *G. Singer*) 780
La photoionisation du césium par l'absorption discontinue (*F.-L. Mohler* et *C. Boeckner*) 908

SOCIETES INDUSTRIELLES ET COMMERCIALES

Caen (Société d'Electricité de —). — Assemblée générale ordinaire du 27 juin 1930 461

Clées (Société anonyme de l'Usine électrique des —). — Assemblée générale ordinaire du 26 avril 1930 510

Construction et de Location d'Appareils de Levage et de Matériel de Travaux publics (Société de —). — Assemblée générale ordinaire du 13 juin 1930 1064

Cure (Compagnie hydroélectrique de la —). — Assemblée générale ordinaire du 7 juillet 1930.. 880

Eclairage et de Force par l'Electricité (Société nantaise d' —). — Assemblée générale ordinaire du 22 mai 1930) 342

Electricité (Compagnie générale d' —). — Assemblée générale ordinaire du 21 mai 1930..... 253

Electricité (Compagnie lorraine d' —). — Assemblée générale ordinaire du 16 mai 1930..... 189

Electricité (Société avignonnaise d' —). — Assemblée générale ordinaire du 28 mai 1930..... 512

Electro-Mécanique (Compagnie —). — Assemblée générale ordinaire du 13 mai 1930..... 222

Energie électrique (Société havraise d' —). — Assemblée générale ordinaire du 28 avril 1930.... 114

Energie électrique (Compagnie centrale d' —). — Assemblée générale ordinaire du 29 avril 1930. 35

Energie électrique (Société pyrénéenne d' —). — Assemblée générale ordinaire du 3 mai 1930). 1016

Energie électrique du Littoral méditerranéen. — Assemblée générale ordinaire du 13 juin 1930.. 545

Energie industrielle (L' —). — Assemblée générale ordinaire du 20 mars 1930 33

Entreprises hydrauliques et de Travaux publics (Compagnie d' —). — Assemblée générale ordinaire du 2 mai 1930) 75

Est-Lumière (Compagnie d'Electricité de l'Est parisien). — Assemblée générale ordinaire du 27 juin 1930 672

Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz (Compagnie pour la —). — Assemblée générale ordinaire du 3 juillet 1930) 669

Force et Lumière électriques (Forclum) (Société de —). — Assemblée générale ordinaire du 20 mai 1930 190

Fure et Morge et de Vizille (Société hydroélectrique de —). — Assemblée générale ordinaire du 24 mai 1930 462

Grosne (Compagnie électrique de la —). — Assemblée générale ordinaire du 12 avril 1930.... 1063

Industrie des Chemins de fer et des Tramways électriques (Société parisienne pour l' —). — Assemblée générale ordinaire du 22 mai 1930..... 341

Jeumont (Forges et Ateliers de Constructions électriques de —). — Assemblée générale ordinaire du 21 mai 1930 75

Nord (Compagnie électrique du —). — Assemblée générale ordinaire du 27 juin 1930 759

Nord-Est parisien (Electricité du —). — Assemblée générale ordinaire du 15 mai 1930..... 968

Nord-Lumière (Le Triphasé). — Assemblée générale ordinaire du 17 juin 1930 711

Oise (Secteur électrique de la Vallée de l' —). — Assemblée générale ordinaire du 11 juin 1930.... 511

Ouest (Société de Distribution d'Electricité de l' —). — Assemblée générale ordinaire du 15 mai 1930 157

Ouest parisien (Ouest-Lumière) (Compagnie d'Electricité de l' —). — Assemblée générale ordinaire du 5 juin 1930 224

Paris (Compagnie de Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de —). — Assemblée générale ordinaire du 6 juin 1930 379

Paris (Compagnie du Chemin de fer métropolitain de —). — Assemblée générale ordinaire du 30 mai 1930 419

Paris (Société d'Eclairage et de Force par l'Electricité à —). — Assemblée générale ordinaire du 19 juin 1930 1015

Paris (Société d'Electricité de —). — Assemblée générale ordinaire du 16 octobre 1930..... 967

Parvillée Frères et Cie (Anciens Etablissements—). — Assemblée générale ordinaire du 31 mai 1930. 585

Production et de Distribution d'énergie (Précédemment dénommée Electricité de Reims) (Société de —). — Assemblée générale ordinaire du 10 juillet 1930 670

Radio-France Compagnie —). — Assemblée générale ordinaire du 19 juin 1930 711

Rhône (Société lyonnaise des Forces motrices du —). — Assemblée générale ordinaire du 6 juin 1930) 585

Seine (Electricité de la —). — Assemblée générale ordinaire du 20 mai 1930 256

Selune (Forces motrices de la —). — Assemblée générale ordinaire du 12 mai 1930 158

Strasbourg (Electricité de —). — Assemblée générale ordinaire du 30 mai 1930..... 290

Sud-Ouest (Energie électrique du —). — Assemblée générale ordinaire du 23 mai 1930..... 339

Télégraphie sans Fil (Compagnie générale de —). — Assemblée générale ordinaire du 25 juin 1930. 671

Thomson-Houston (Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés —). — Assemblée générale ordinaire du 9 mai 1930 155

Trévoux (Société anonyme des Condensateurs de —). — Assemblée générale ordinaire du 30 mai 1930 340

Union d'Electricité. — Assemblée générale ordinaire du 9 mai 1930 289

Valenciennes-Anzin Société d'Electricité de la Région de —). — Assemblée générale ordinaire du 15 mai 1930 116

Vienne (Société des Forces motrices de la —). — Assemblée générale ordinaire du 17 juin 1930.. 625

NOTES ET INFORMATIONS PERSONNELLES

Nécrologies. — S.-Z. de Ferranti 42
Eugène Schwarberg 427
Lucien Neu 1017

Distinctions honorifiques. — Nomination de M. L. Jumau au grade de chevalier de la Légion d'honneur 465

Divers. — Commémoration du centenaire de la découverte par Faraday de l'induction électromagnétique 385

Enseignement, Documentation, Bibliographie

ENSEIGNEMENT

Conservatoire national des Arts-et-Métiers. — Conférences d'actualités scientifiques et industrielles (année 1929) 164

BIBLIOGRAPHIE

Annuaires. Agendas. — Annuaire de la production métallurgique et mécanique de Lyon et de la région 82

Agenda d'électricité pour 1930, par *P. Bunet* et *A. Ceytre* 348

Ouvrages récents. — SCIENCES. — Deux heures de physique (Electrostatique), par *P. Biquard* et *F. Joliot*) 42
Maupertuis, par *Pierre Brunet* 125
L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta, par *Eugène Bloch* 125
Maupertuis : l'œuvre et sa place dans la pensée scientifique du dix-huitième siècle, par *Pierre Brunet* 194
Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire, par *Louis de Broglie* 258
Recueil sur les ondes et corpuscules, par *Louis de Broglie* 346
La doctrine einsteinienne devant les faits périodiques et la réfraction lumineuse. Sur l'intelligence au travail, par *Marcelin Dubrooa* 387
Manuel pratique de magnétisme terrestre, par *L. Eblé* 468
Leçons sur la résistance des fluides non visqueux, par *Paul Painlevé* 514
Les statistiques quantiques et leurs applications, par *Léon Brillouin* 554
Physique moderne, par *Gaetano Castelfranchi* ... 593
La mécanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques, par *Arthur Haas* 634
Les quanta, par *Georges Déjardin* 764

INDUSTRIE. — Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques, par *René Champly*..... 258
Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse, tome I, par *André Tenot* 346
Idraulica (Hydraulique) ; tome I, par *Giulio de Marchi* 347
Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektritätswerke (L'accumulation de l'énergie, au point de vue économique, dans les usines génératrices d'énergie électrique), par *Ludwig Musil* 348
La vapeur à très haute pression, par *F. Munzinger* 348
Machines à vapeur, par *René Champly* 428
Worschriftenbuch des Verbandes deutscher Elecktrotechniker (Prescriptions du Verband deutscher Elektrotechniker) 126
Manuel pratique du monteur électricien, par *J. Laffargue* et *L. Jumau* 164
Filetage rapide pour le tourneur mécanicien. Système Stroscia, par *Rodolfo Stroscia* 388
Calcul et construction des grues, par *A. Nachtergal* 388
Forge, découpage, emboutissage, rivetage, estampage et soudure, étamage, zingage, plombage, par *René Champly* 425
Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines), par *A. Tenot* 514
Propriétés générales des machines, par *L. Lecornu.* 514
Starkstromtechnik (La technique des courants forts), par *E.-V. Rziha* et *J. Seidener* 226
High voltage cables (Les câbles à haute tension), par *P. Dunsheath* 298
Commercial alternating currents measurements (Mesures en courant alternatif), par *G.-W. Stubbings* 347
Transmission networks and wave filters (Réseaux de transmission et filtres), par *T.-E. Shea* 386
Alternating current bridge methods (Emploi des méthodes de pont en courant alternatif), par *B. Hague* 387
The theory of electrical artificial lines and filters (La théorie des lignes électriques artificielles et des filtres), par *A.-C. Bartlett* 387
Exécution des enroulements des machines triphasées, par *Maurice Le Cadre* 426
Il fattore di potenza (Le facteur de puissance), par *Giuseppe Finocchi* 428
Eiserne Gittermaste für Starkstrom-Freileitungen (Pylônes métalliques en treillis pour canalisations aériennes à courant fort), par *Wilhelm Taenzer.* 554
Elektrische Maschinen (Les machines électriques), t. II, par *Rudolf Richter* 594
Comptabilité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique, par *Marius Dubouloz* 633
Oesterreichs zukünftige Energierwirtchaft (Les perspectives d'avenir de l'électrification de l'Autriche), par *Richard Hofbauer* 714
Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927 (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927), par *J. Wallot*.... 764
Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik (Exposé de quelques faits historiques de l'électrotechnique), par *Elektrotechnischer Verein* 802
Carte des usines génératrices, des réseaux de distribution et des lignes de transmission de l'Afrique du Nord, par la *Société financière électrique.* 922
Gestehungskosten und Verkaufspreise elektrischer Arbeit (Prix de revient et prix de vente de l'énergie électrique), par *Fr. Brock* 970
Mercury arc power rectifiers (Les redresseurs à vapeur de mercure), par *O.-K. Marti* et *H. Winograd* 970
Die Relaissteuerungen der modernen Starkstromtechnik (La commande par relais dans la technique moderne des courants forts), par *Reinhold Rudenberg* 970
Appareillage électrique haute tension, par *Charles Bresson* 1020
Principles of electric power transmission by alternating currents (Principes de la transmission de l'énergie électrique par courants alternatifs), par *H. Waddicor* 1020
Die Elektromagnete (Les électroaimants), par *Erich Jasse*) 426
A study of the induction motor (Une étude du moteur d'induction), par *F.-T. Chapman* 426
Engineering Reports of the Joint Subcommittee of Development and Research of the National electric Light Association and the Bell Telephone System (Rapports du Sous-Comité pour l'Avancement des Recherches de la National electric Light Association et de la Bell Telephone System réunies) 426
A critical review of litterature on amplifiers for radio reception (Etude critique de la littérature technique relative aux amplificateurs pour réception radioélectriques) 468
Manuel de réception radioélectrique, par *Pierre David* 468
Photocells and their applications (Les cellules photoélectriques et leurs applications), par *V.-K. Zworykin* et *E.-D. Wilson* 594
Cours de T. S. F., par *Michel Adam* 684
Radiotechnik : Die elektrischen Wellen (Radiotechnique : Les ondes électriques), par *F. Kiebitz*.. 802
The selenium cell, its properties and applications (Les propriétés et les applications de la cellule au sélénium), par *G.-P. Barnard* 884
Schaltung und Regelung elektrischer Heizeinrich-

tungen (Montage et réglage des dispositifs de chauffage électrique), par *W. Schulz* 802
L'art de bâtir une maison agréable et saine, par *Edmond Marcotte* 802

Economie industrielle. — Guide formulaire pour la vente amiable des fonds de commerce à l'usage des vendeurs, acquéreurs, intermédiaires, par *Gaston Preau* 388
Les miracles du crédit, par *Emile Mireaux* 634

Législation. — Des atteintes à la propriété à raison des travaux publics, notamment pour la production et la distribution d'énergie électrique, par *Ch. Blaevoet* 42
Recueil des règlements, prescriptions, recommandations concernant les industries du carbure de calcium, de l'oxygène, de l'acétylène et de la soudure autogène 634

calcium, de l'oxygène, de l'acétylène et de la soudure autogène 634
Les assurances sociales. (Commentaire pratique; la loi et les décrets in extenso) 634
Die Elektrizitätsgesetzgebung der Kulturländer der Erde (La législation de l'électricité dans les pays civilisés du monde), par *G. Siegel* 763

Divers. — Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures (Tome XVIII). 162
Conférences d'actualités scientifiques et industrielles (année 1929) 164
Comment on devient ajusteur et monteur mécanicien, par *René Champly* 226
Formulaire des produits d'entretien et spécialités industrielles de droguerie, par *A. Chemist*.... 386

Législation, Réglementation, Jurisprudence

LEGISLATION GENERALE

Des conflits juridictionnels provoqués par les disparates entre polices d'abonnements et cahier des charges (*Ch. Blaevoet*) 117
La loi du 1er mai 1930 sur le régime des sociétés par actions (*Paul Bougault*) 381
Commentaire pratique de la loi du 2 mai 1930 sur la réorganisation de la protection des monuments naturels et des sites (*Paul Bougault*)..... 627
Les assurances sociales. (Commentaire pratique; la loi et les décrets in extenso) (Bibliographie).... 634

LEGISLATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

Généralités. — La désignation des pièces détachées (*Fernand-Jacq*) 77
La désignation des pièces détachées et la question des références (*Fernand-Jacq*) 421
Commentaire pratique de la loi du 2 mai 1930 sur la réorganisation et la protection des monuments naturels et des sites (*Paul Bougault*).... 627
Recueil des règlements, prescriptions, recommandations concernant les industries du carbure de calcium, de l'oxygène, de l'acétylène et de la soudure autogène (Bibliographie) 634
Les conditions légales d'établissement des postes de radiodiffusion (*Achille Mestre*) 463

Energie hydraulique. — L'enregistrement des accords entre concessionnaires de chutes et titulaires de droits d'eau (*Achille Mestre*) 191
La révision des baux de force motrice des cours d'eau (*Achille Mestre*) 587

Distribution de l'énergie électrique. — Des atteintes à la propriété à raison des travaux publics, notamment pour la production et la distribution d'énergie électrique, par *Ch. Blaevoet* (Bibliographie) 42
Des conflits juridictionnels provoqués par les disparates entre polices d'abonnements et cahiers des charges (*Ch. Blaevoet*) 117
Sur les causes retardant la mise en service de certains réseaux communaux de distribution d'énergie électrique 160
Une intéressante application de l'article 30, dit des pénalités et amendes du cahier des charges, à l'occasion de l'extension d'un réseau (Arrêt du Conseil d'Etat du 23 mai 1930) (*Paul Bougault*). 293

L'obligation de fournir du courant et la capacité de production de l'usine du concessionnaire (Arrêts du Conseil d'Etat du 21 mai 1930 et du 26 mai 1930) (*Paul Bougault*) 343
Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise (Arrêt du Conseil d'Etat du 10 juillet 1930) (*Paul Bougault*) 547
Décret du 10 juillet 1930 portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles ..... 549, 58?
Die Elektrizitätsgesetzgebung der Kulturländer der Erde (La législation de l'électricité dans les pays civilisés du monde), par *G. Siegel* (Bibliographie) 763

Propriété industrielle. — Loi du 1er août 1930 portant approbation des conventions concernant la propriété industrielle signées à La Haye le 6 novembre 1925 592
Décret du 5 octobre 1930 promulguant les conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925 en vue de modifier les conventions antérieures de Paris et de Madrid concernant le dépôt des dessins ou modèles industriels 800
Arrêté du 20 octobre 1930 rapportant l'arrêté du 7 mai 1915 relatif à l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle des enveloppes doubles spéciales pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles..... 839
Le projet de réforme de la loi sur les marques de fabrique (*Fernand-Jacq*) 835
Réglementation concernant les taxes internationales d'enregistrement des marques de fabrique ou de commerce 839

TEXTES OFFICIELS

Lois. — Loi du 1er août 1930 portant approbation des conventions concernant la propriété industrielle signées à La Haye le 6 novembre 1925 592
Loi du 4 août 1930, modifiant les articles 61, 62, 63, 64, 69, 70 c, 73 et 73 b, du titre III, livre premier, du code du Travail, chapitre IV (de la saisie-arrêt et de la cession des salaires et petits traitements)..... 383

Décrets. — Décret du 24 avril 1930 instituant un Comité supérieur de Normalisation..... 37

Décret du 10 juillet 1930 portant règlement des installations électriques dans les mines de combustibles 549, 589
Décret du 5 octobre 1930 promulguant les conventions signées à La Haye le 6 novembre 1925 en vue de modifier les conventions antérieures de Paris et de Madrid concernant le dépôt des dessins ou modèles industriels 800

Arrêtés. — Arrêté du 7 juin 1930 relatif à l'application des articles 182 et 183 de la loi de finances du 16 avril 1930 (électrification rurale).... 159
Arrêté du 20 octobre 1930 rapportant l'arrêté du 7 mai 1915 relatif à l'envoi au Bureau international de la Propriété industrielle des enveloppes doubles spéciales pour la constatation de la priorité de création des dessins et modèles..... 839

JURISPRUDENCE

Cour de Cassation. — Arrêt du 2 avril 1930 déclarant non passibles de l'impôt les sommes reçues par les porteurs de parts de fondateurs pour le rachat de ces parts 39
Arrêt du 2 mai 1930 concernant les amendes encourues pour contravention à la législation sur la durée du travail 296
Arrêt du 14 mai 1930 concernant le paiement de l'indemnité journalière attribuée pour accident de travail 344
Arrêt du 4 novembre 1930, fixant la juridiction compétente en matière d'indemnités pour implantation de pylônes dans les propriétés privées.... 919

Conseil d'Etat. — Arrêt du 23 mai 1930 concernant une application de l'article 30, dit des pénalités et amendes, du cahier des charges à l'occasion de l'extension d'un réseau (*Paul Bougault*) 293
Arrêt du 28 février 1930 concernant l'amende encourue pour refus de communication de la comptabilité commerciale 295
Arrêts du 21 mai 1930 et du 26 mai 1930 concernant l'obligation de fournir du courant et la capacité de production de l'usine du concessionnaire (*Paul Bougault*) 343
Arrêt du 10 juillet 1930 relatif au renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise (*Paul Bougault*) 547
Arrêt du 11 juillet 1930. Application rigoureuse de la loi du 27 février 1925 à une demande de relèvement de tarifs (*Paul Bougault*) 797

INTERPRETATION DES TEXTES OFFICIELS

Questions et réponses (Chambre et Sénat). —
Sur les mesures envisagées en faveur des assujettis à la Caisse des Retraites ouvrières et paysannes qui ne sont pas assujettis à la loi sur les assurances sociales 160
Sur les subventions accordées aux anciens combattants pour la constitution d'une retraite..... 296
Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux assurés à la Caisse nationale des Retraites 384
Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux pensionnés au titre militaire.. 552
Sur la situation au point de vue des assurances sociales du personnel des entreprises de distribution d'énergie électrique n'ayant pas établi un statut de leur personnel 631
Sur la situation au point de vue des assurances sociales des assurés obligatoires de la loi de 1910 sur les retraites ouvrières 632
Sur la non-extension aux artisans des villes des avantages accordés aux artisans ruraux pour l'inscription facultative aux assurances sociales..... 632
Sur les cotisations aux assurances sociales des ouvriers algériens travaillant temporairement en France 800
Sur les traitements des fonctionnaires du Bureau international du Travail 919
Sur la proportion des frais médicaux et pharmaceutiques devant être remboursée aux assujettis aux assurances sociales 919
Sur le cas où les salariés refusent de verser aux employeurs leurs cotisations aux assurances sociales 920
Sur la contribution patronale aux assurances sociales sur le salaire payé à un ouvrier ayant 65 ans révolus 920
Sur la déduction des bénéfices industriels de la valeur locative des immeubles appartenant à l'industriel 39
Sur les délais dans lesquels doit être acquittée la taxe sur le chiffre d'affaires 39
Sur la non-imposition comme revenus des dommages et intérêts alloués à un inventeur pour contrefaçon 40
Sur l'exonération de l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières 159
Sur la procédure des réclamations en matière de contributions directes 159
Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux des exercices clos pendant le premier trimestre 1930 296
Sur les dépenses pouvant être déduites du traitement pour le calcul des impôts 384
Sur le calcul des impôts frappant les sociétés à responsabilité limitée et leurs gérants 632
Sur l'application de l'impôt sur les bénéfices commerciaux sur les excédents de recettes provenant de la vente de l'énergie électrique 800
Sur la patente spéciale des fournisseurs aux administrations publiques 840
Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices dus par les sociétés dont l'exercice est à cheval sur deux années 840
Sur la non-possibilité de retrancher du revenu général la taxe sur les automobiles 840
Sur la non-possibilité d'imputer sur les bénéfices les pertes antérieures lorsque celles-ci ont été comblées par une réduction du capital social.... 920
Sur les formalités à remplir pour recevoir en franchise les marchandises exportées puis retournées à l'expéditeur 40
Sur les frais incombant aux propriétaires d'embranchements industriels lors de l'électrification de la ligne principale de chemin de fer 40
Sur les causes retardant la mise en service de certains réseaux communaux de distribution d'énergie électrique 160

RÉPERTOIRE GÉOGRAPHIQUE

Algérie et Maroc. — Carte des usines génératrices, des réseaux de distribution et des lignes de transmission de l'Afrique du Nord, par la *Société financière électrique* (Bibliographie)..... 922

Allemagne. — La station d'essais à deux millions de volts de la Porzellanfabrik Ph. Rosenthal à Selb (*K. Draeger*) 663

Argentine. — La nouvelle centrale de la Chade à Buenos-Ayres (*Société financière de Transports et d'Entreprises industrielles*) 804

Autriche. — Oesterreichs zukünftige Energiewirtschaft (Les perspectives d'avenir de l'électrification de l'Autriche), par *Richard Hofbauer* (Bibliographie) 714

Belgique. — Evolution du gros moteur à gaz en Belgique (*H. Lesueur*) 334
Le Musée de l'Electricité de Bruxelles..... 513
L'électrification rurale en Belgique (*P. Sohie*) 932
La propagande faite par les distributeurs belges d'énergie électrique (*P. Sohie*) 973
Le développement de la traction électrique par accumulateurs en Belgique (*J. Ryffranck* et *P. van Halteren*) 974
La tarification de l'énergie électrique en Belgique (*Paul Chaudoir*) 1029

Espagne. — L'Association espagnole d'Eclairagisme aux Expositions de Barcelone et de Séville (*Camara official de Productores y Distribuidores de Electricidad*) 928

Etats-Unis d'Amérique. — L'emploi de barres générales de protection au poste de sectionnement de Brunot Island de la Duquesne Light Company (*R.-M. Stanley* et *F.-C. Hornibrook*) 459
L'emploi de l'électricité dans les fermes de l'Idaho (*Hobart Beresford*) 678

Europe. — Un programme économique d'électrification pour l'Europe (*Ernst Schonholzer*) 759

France. — Visite de la presse technique aux chantiers des aménagements hydroélectriques de Kembs 1
La station de pompage du lac d'Artouste (*L. Combeniac*) 107
L'usine électrique de Guerlédan et le réseau de distribution de l'Union hydroélectrique armoricaine (*A. Monmerqué*) 315
L'éclairage des voies publiques de la ville de Toulouse (*Maurice Daignan*) 565
Les chaudières de l'usine génératrice d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité 612
Unification de la fréquence dans la région parisienne (*P. Rieunier*) 803
Le groupement des centrales métallurgiques du bassin de Briey (*A. Evain*) 806
La sous-station automatique Bergerie de la Société d'Eclairage électrique de Cannes (*L. Dourche*) 823
Les tendances du développement de la consommation, de l'organisation commerciale et de la propagande en France (*P.-H. Pinard*) 927
Le poste central de contrôle et de commande électrique à distance de la chauffe à l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité (*T. Pausert*)..... 949
Expériences sur les conduites de l'usine de Miegebat (*C. Camichel, J. Leclerc du Sablon* et *L. Escande*) 1005
Une visite à l'usine génératrice thermique de Vitry-Sud, de l'Union d'Electricité 1018
Les postes de transformation de Soisy-sous-Montmorency et de Trie-Château (*H. Daguerre*)..... 1043

Grande-Bretagne. — Les installations électriques des ateliers de Southall de l'Associated Equipment Company 153
Les câbles souterrains à haute tension en Angleterre (*T.-N. Rilei*) 668
L'électrification rurale en Grande-Bretagne (*R. Borlase-Matthews*) 973

Italie. — La ligne de transmission d'énergie à 220 000 volts de Cardano à Cislago de la Societa idroelettrica Piemonte (*A. dalla Verde*) 359
Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques en Italie (*Ettore Cesari*) 808
Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Italie (*Bianchi*) 921
L'influence de la tarification de l'énergie réactive sur l'exploitation technique et commerciale des installations électriques en rapport aux résultats obtenus par le groupement Società Adriatica di Elettricita (*Giacomo Fracanzani*) 1027

Japon. — Le développement de l'éclairage électrique au Japon et la propagande exercée en sa faveur (*Denki Kyokai*) 927

Pays-Bas. — Expérience acquise aux Pays-Bas avec le chauffage électrique des écoles (*Bureau central de l'Association de Directeurs d'entreprises électriques des Pays-Bas*) 929
Les nouvelles applications de l'électricité à l'agriculture aux Pays-Bas (*Bureau central de l'Association de Directeurs d'Entreprises électriques des Pays-Bas*) 972

Pologne. — La propagande pour l'application de l'électricité en Pologne (*Czeslaw Zakiewicz*).... 931
La propagande en faveur de l'électricité organisée par la Compagnie d'Electricité de Lodz (*Edward Ulmann*) 973
Règlements officiels concernant la vérification et le poinçonnage des compteurs d'électricité et des transformateurs de mesure considérant surtout les prescriptions en vigueur en Pologne (*Joseph Rzasnicki*) 980
Les tarifs dans les cahiers des charges en Pologne (*Maurice Altenberg*) 1029

Suisse. — Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines), par *A. Tenot* (Bibliographie) 514
L'usine hydroélectrique de Riedji à commande automatique (*R.-W. Meunier*) 781

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

ABÉLÈS (Lucien). — Abaque pour le calcul des fonctions circulaires et hyperboliques de variables complexes 515

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ DES —) (ANCIENS ETABLISSEMENTS A. DININ). — Dispositif de contrôle de niveau de l'électrolyte dans les batteries d'accumulateurs 698

ACCUMULATEURS FIXES ET DE TRACTION (LA SOCIÉTÉ DES —). — Nouvel accumulateur alcalin..... 750

ACCUMULATEURS, PILES, APPAREILLAGE (SOCIÉTÉ —). — Accumulateurs 659

ADAM (Michel). — Cours de T. S. F. (Bibliographie). 634

ADELSON (J.-S.). — Voir *Whittemore* (*H.-L.*), *Adelson* (*J.-S.*) et *Scaquist* (*E.-O.*) 528

ALESSANDRI (E.). — Progrès réalisés dans la technique de la construction des isolateurs sans ciment 498

ALLARD (A.). — Voir *Coens* (*H.*) et *Allard* (*A.*)..... 718

ALLEN (E.-J.) et CAUTWELL (J.-L.). — L'effet des capacités en série sur la stabilité des systèmes de transmission d'énergie 388

ALO (D'). — Voies de tramways et structure de la plate-forme 717

ALPE (A.). — La motoculture électrique..... 681

ALTENBERG (Maurice). — Les tarifs dans les cahiers des charges en Pologne 1029

ANTOINE. — Une réalisation industrielle de l'accumulateur plomb-zinc : l'accumulateur léger Pouchain 187

ANTOINE (A.). — Comment assurer le développement de la consommation domestique d'électricité 926

ARNAUD (L.-A.-H.). — Perfectionnements aux accumulateurs électriques 652
— Perfectionnements aux accumulateurs à formation naturelle 746

ARNOLD. — Emploi de moteurs à huile lourde sur voies ferrées et sur routes 717

ARSONVAL (A. D'). — Ampoule à rayons X du type Coolidge fonctionnant sous la tension de 400 000 volts 312

ATELIERS MÉCANIQUES (SOCIÉTÉ LES —). — Dispositif de court-circuitage automatique pour châssis de chargement des accumulateurs de lampes de mines 794

AUMULLER (E.). — Limiteur de décharge pour batteries 793

AZARIA (Pierre). — Quelques considérations économiques et financières sur la situation de l'industrie française 109

BACQUEYRISSE (L.). — Procédés et études pour faciliter le service des voyageurs 718

BAKER (B.-P.) et WILCOX (H.-M.). — Le rôle de l'huile isolante dans la rupture de l'arc 542

BALLAY (Marcel). — Les méthodes modernes de nickelage 182

BARBIER (L.). — Dispositif de support des éléments pour batteries d'accumulateurs 745

BARBILLION (L.). — Etude analytique du fonctionnement de groupes électrogènes en parallèle au cours d'une variation de charge 405, 447

BARLOW (H.-M.). — Expériences sur les anomalies apparentes de la loi d'Ohm, appliquée aux métaux, dans le cas de grandes densités de courant. 238

BARNARD (G.-P.). — The selenium cell, its properties and applications (Les propriétés et les applications de la cellule au sélénium) (Bibliographie) 884

BARNES (H.). — La capture d'électrons par des particules 87

BAROSSO (L.). — Accumulateur électrique 790

BARTLETT (A.-C.). — The theory of electrical artificial lines and filters (La théorie des lignes électriques artificielles et les filtres) (Bibliographie) 387

BAULT (C.). — Accumulateur électrique 790

BEAVIS (E.-A.). — Effets de la pénétration de l'eau dans les câbles de transmission d'énergie à enveloppe de plomb 218

BECK (Edward). — Voir *Fielder* (*F.-D.*) et *Beck* (*Edward*) 834

BELGIQUE (UNION DES EXPLOITATIONS ÉLECTRIQUES EN —). — Permanence du service de distribution 847

BELL (H.-G.). — Voir *Ross* (*T.-W.*) et *Bell* (*H.-G.*) 1011

BENEDICT (R.-R.). — Propriétés des diélectriques.. 17

BERESFORD (Hobart). — L'emploi de l'électricité dans les fermes de l'Idaho 678

BERGERON (L.). — Note sur la théorie des coups de bélier 331
— Note sur les courbes caractéristiques des turbines hydrauliques 332

BERTHELIER (J.) et VANDEGHEM (A.). — Répartition des charges sur les turboalternateurs à hautes pressions fonctionnant en parallèle 333

BESIG (Friedrich). — Courants de retour (dans le sol et les canalisations) provenant d'installations à courant alternatif 917

BEWLEY (L.-V.). — Etude critique des théories sur le fil de terre 964

BIANCHI. — Etat actuel de l'électrification des chemins de fer en Italie 921

BIQUARD (B.) et JOLIOT (F.). — Deux heures de physique (Electrostatique) (Bibliographie) 42

BITOUZET (Maurice). — Le parti à tirer des réseaux ruraux à moyenne tension 925

BITTER (F.). — La susceptibilité magnétique des gaz : sa relation avec la pression 564

BLAEVOET (Ch.). — Des atteintes à la propriété à raison des travaux publics, notamment pour la production et la distribution d'énergie électrique (Bibliographie) 42

— Des conflits juridictionnels provoqués par les disparates entre polices d'abonnements et cahiers des charges 117

BLANCHARD (Pierre). — La normalisation 331

BLANSZTAJN (A.). — Plaque d'accumulateur 652

BLOCH (Eugène). — L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta (Bibliographie) 125

BLONDEL (André). — Sur les unités magnétiques. Un plaidoyer pour la logique 555

— Le henry et les autres unités magnétiques pratiques 1033

BOECKNER (C.). — Voir *Mohler (F.-L.)* et *Boeckner (C.)*. 908

BOQUET (Emile). — L'électricité comme force motrice dans la ferme 679

BORLASE-MATTHEWS (R.). — L'électrification rurale en Grande-Bretagne 973

BOSCH AKTIEN GESELLSCHAFT (ROBERT —). — Accumulateur particulièrement destiné aux véhicules 705

BOUGAULT (Paul). — Une intéressante application de l'article 30, dit des pénalités et amendes du cahier des charges, à l'occasion de l'extension d'un réseau (Arrêt du Conseil d'Etat du 23 mai 1930).. 293

— L'obligation de fournir du courant et la capacité de production de l'usine du concessionnaire (Arrêts du Conseil d'Etat du 21 mai 1930 et du 26 mai 1930) 343

— La loi du 1er mai 1930 sur le régime des sociétés par actions 381

— Le renouvellement du matériel dans une concession de distribution d'énergie. Une annuité par exercice est une charge de l'entreprise (Arrêt du Conseil d'Etat du 10 juillet 1930)..... 547

— Commentaire pratique de la loi du 2 mai 1930 sur la réorganisation de la protection des monuments naturels et des sites 627

— Application rigoureuse de la loi du 27 février 1925 à une demande de relèvement de tarifs. (Arrêt du Conseil d'Etat du 11 juillet 1930)..... 797

BOUKAERT (G.). — L'électricité comme moyen de chauffage dans l'exploitation agricole 680

BOUNY (F.). — L'emploi des dynamomètres de torsion pour la détermination de la puissance des machines 335

BOURELLY (G.). — Connaissances actuelles relatives à l'action des ondes à front raide sur les réseaux électriques 456

BOURGONNIER (C.). — Le guidage par câble et le guidage sans câble des navires et des avions..... 19

BOURLARD (Axel). — L'éclairagisme 972

BOUTARIC (A.). — L'état actuel de nos connaissances sur les supraconducteurs 165

— Un nouveau phénomène d'optique : l'effet Raman 683

— Le développement des réseaux de distribution d'énergie électrique et les dangers de la foudre.. 865

BOUTEILLE (J.). — Perfectionnements aux batteries électrolytiques 745

BOZORTH (R.-M.) et DILLINGER (J.-F.). — L'effet Barkhausen : Détermination de la grandeur moyenne des discontinuités d'aimantation..... 692

BREGUET (MAISON —). — Dispositif de traction électrique approprié pour l'alimentation en courant continu avec batterie d'accumulateurs ou en courant alternatif triphasé 793

BRENNER (R.-E.). — Accumulateur électrique 789

BRESSON (C.). — Coffrets pour petits moteurs 239

— Appareillage électrique haute tension (Bibliographie) 1020

BREWER (A.-K.). — Les propriétés photoélectriques et thermoioniques des filaments de verre recouverts de platine 692

BRILLIÉ (Jean) et MORLET (Ernest). — L'hydrogène atomique. Application à la soudure des métaux.. 620

BRILLOUIN (Léon). — Les statistiques quantiques et leurs applications (Bibliographie) 554

BRINTON (H.-G.). — Voir *Maceachron (K.-B.)* et *Brinton (H.-G.)* 623

BROCK (Fr.). — Gestehungskosten und Verkaufspreise elektrischer Arbeit (Prix de revient et prix de vente de l'énergie électrique) (Bibliographie).. 970

BROGLIE (Louis DE). — Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire (Bibliographie)..... 258

— Recueil sur les ondes et corpuscules (Bibliographie). 346

BROWNE (T.-E.). — Voir *Todd (F.-C.)* et *Browne (T.-E.)* 948

BRUNET (Louis). — Les nouvelles théories de la dissociation électrolytique 646

BRUNET (Pierre). — Maupertuis (Bibliographie) 125

— Maupertuis : l'œuvre et sa place dans la pensée scientifique du dix-huitième siècle (Bibliographie) 194

BRUNINGHAUS (L.). — Les méthodes électriques de pesée des atomes 195

— Quelques aspects de la théorie quantique des spectres lumineux 933, 990

BRUZAU (Marc). — Sur la distribution spatiale du rayonnement gamma du radium dans les milieux dispersifs légers 238

BRYLINSKI (E.). — Observations de M. E. Brylinski sur les décisions de la Commission électrotechnique internationale concernant les unités magnétiques 722

— Les conditions de coexistence des lignes d'énergie électrique et des lignes de télécommunication ou des canalisations souterraines 891

— Sur un système d'unités mécaniques, électriques et magnétiques 1037

BUNET (P.) et CEYTRE (A.). — Agenda d'électricité pour 1930 (Bibliographie) 348

BUONO (U. DEL). — La mise à la terre du neutre dans les réseaux à haute et à basse tension..... 885

BUREAU CENTRAL DE L'ASSOCIATION DE DIRECTEURS D'ENTREPRISES ÉLECTRIQUES DES PAYS-BAS. — Expérience acquise aux Pays-Bas avec le chauffage électrique des écoles 929
— Les nouvelles applications de l'électricité à l'agriculture aux Pays-Bas 972

BURRI (A.). — La propagande auprès des abonnés, y compris diverses applications de l'électricité; les progrès de l'éclairagisme 971

CAENEGHEM (VAN). — Discours prononcé du Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. 768

CAILLARD (SOCIÉTÉ —) et HEUZEY (Marcel). — Bac pour batterie d'accumulateurs 657

CAILLARD et HEUZEY (Marcel). — Batterie d'accumulateurs pour l'éclairage des motocyclettes et autres applications 746

CAILLEUX (P.-E.). — Accumulateurs et piles à électrolyte et leur procédé de fabrication 709
— Elément creux hermétique et autonome susceptible de constituer un accumulateur, une soupape électrolytique ou autre 707

CALMELS (H.). — Accumulateur électrique 703
— Electrode pour accumulateur 704

CAMARA OFFICIAL DE PRODUCTORES Y DISTRIBUIDORES DE ELECTRICIDAD. — L'Association espagnole d'Eclairagisme aux expositions de Barcelone et de Séville 928

CAMICHEL (C.). — Considérations sur la similitude. 332

CAMICHEL (C.), LECLERC DU SABLON (J.) et ESCANDE (L.). — Expériences sur les conduites de l'usine de Miègebat 1005

CARBONE (SOCIÉTÉ LE —). — Perfectionnement aux pôles et accumulateurs électriques et appareils électrolyseurs 654
— Accumulateur à gaz 792

CARR (G.-R.). — Voir *Everett (C.-H.)* et *Carr (G.-R.)* 706, 748

CASTELFRANCHI (Gaetano). — Physique moderne (Bibliographie) 593

CAUTWELL (J.-L.). — Voir *Allen (E.-J.)* et *Cautwell (J.-L.)* 338

CESARI (Ettore). — Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques en Italie 808

CEYTRE (A.). — Voir *Bunet (P.)* et *Ceytre (A.)*.... 348

CHAMPLY (René). — Comment on devient ajusteur et monteur mécanicien (Bibliographie) 226
— Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques (Bibliographie) 258
— Forge, découpage, emboutissage, rivetage, estampage et soudure, étamage, zingage, plombage.... 425
— Machines à vapeur (Bibliographie) 428

CHAPMAN (F.-T.). — A study of the induction motor (Une étude du moteur d'induction) (Bibliographie) 426

CHARLES (M.). — Système de batterie d'accumulateurs à tension variable 744

CHAUDOIR (Paul). — La tarification de l'énergie électrique en Belgique 1029

CHEMIST (A.). — Formulaire des produits d'entretien et spécialités industrielles de droguerie (Bibliographie) 386

CHENARD ET WALCKER (SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENS ETABLISSEMENTS —). — Indicateur de niveau de liquide pour accumulateurs 697

CHILDS (E.-C.). — Sur l'espace obscur cathodique dans la décharge cathodique de Geissler 90

CLAUDE (H.). — Etude des formes à adopter pour les sections des pylônes en béton 326

CLEM (J.-E.). — Essais d'anneaux de garde munis de fusibles 335

COMBENIAC (L.). — La station de pompage du lac d'Artouste 107

COENS (H.) et ALLARD (A.). — Méthodes et dispositifs d'alimentation en énergie d'un réseau de tramways électriques 718

CONCORDIA ELEKTRICITATS A.-G. (Société). — Bac pour accumulateurs multiples de lampes électriques de mine 658
— Supports de plaques d'accumulateurs électriques, particulièrement pour les lampes électriques de mines 663

CORNELIUS (Peter). — La puissance en courant continu du redresseur à cathode incandescente 821

COSYNS (Max). — Analogies électriques mécaniques. 331

COUTAGNE (Aimé). — Enquête sur les débits de crue. 673
— Contrôle hydrologique d'un bassin 673

CREEDY (F.). — Une preuve d'application aux lignes de transmission du diagramme du cercle des moteurs d'induction 138

CROSSLEY (J.-S.). — Perfectionnements apportés aux accumulateurs et à leurs procédés de fabrication. 652

COUPLEUX (E.) et GIVELET (A.). — Orgue électrique 710

DAGUERRE (H.). — Les postes de transformation de Soisy-sous-Montmorency et de Trie-Château du Nord-Lumière 1043

DAIGNAN (Maurice). — L'éclairage des voies publiques de la ville de Toulouse..... 565

DAVID (Pierre). — Manuel de réception radioélectrique (Bibliographie) 468

DAY (R.-E.). — Voir *Ricker (H.-A.)*, *Dunbar (J.-R.)* et *Day (R.-E.)* 544

DEJARDIN (Georges). — Les quanta (Bibliographie). 764

DELPECH (J.) et VACHERON (E.). — Perfectionnements aux accumulateurs électriques..... 652
— Perfectionnements aux accumulateurs électriques 703
ques 709

DENINA (E.). — Nature et caractéristiques de fonctionnement de l'accumulateur au plomb..... 311

DENIS (D.). — La commande électro-pneumatique système Bergmann pour unités multiples..... 177

DEODATO (E.). — Accumulateur électrique..... 707

DERDEYN (Albert). — La vérification et l'entretien des compteurs 981

DESOILLE (Robert). — A propos du fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique 345

DÉVELOPPEMENT DE LA TRACTION PAR ACCUMULATEURS (SOCIÉTÉ FINANCIÈRE POUR LE —). — Voir *Parvillé (E.)* et *Société financière pour le Développement de la Traction par Accumulateurs*..... 663

DIAZ (Léopoldo-Manso). — Applications de l'électricité en agriculture. Discussion économique sommaire du labourage électrique..... 681

DICKMANN (Ed.). — L'unification des fréquences.... 809

DIENNE (Renaud). — Le dépoussiérage des fumées de chaudières 810

DILLINGER (J.-F.). — Voir *Bozorth (R.-M.)* et *Dillinger (J.-F.)* 692

DININ (SOCIÉTÉ DES ANCIENS ETABLISSEMENTS A. —). — Perfectionnements aux accumulateurs électriques 655

DONAT DE GIOVANNINI. — Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques à oxydes rapportés 655

DOURCHE (L.). — La sous-station automatique Bergerie de la Société d'Eclairage électrique de Cannes 823

DOW (M.-T.). — Voir *Drake (F.-H.)*, *Pierce (G.-W.)* et *Dow (M.-T.)*..... 93

DRAEGER (K.). — La station d'essais à deux millions de volts de la Porzellanfabrik Ph. Rosenthal, à Selb 663

DRAKE (F.-H.), PIERCE (G.-W.) et DOW (M.-T.). — Mesure de la constante diélectrique et de l'indice de réfraction de l'eau et des solutions aqueuses de chlorure de potassium aux fréquences élevées 93

DRILHON (R.-H.). — L'électricité à la ferme..... 677

DROPSY (G.). — Perfectionnements aux accumulateurs électriques 662

DROUILLY (E.). — Accumulateur électrique..... 750

DRUMM (James-Joseph). — L'accumulateur Drumm. 796

DUBAR (Léon). — Un nouveau régulateur de température 283

DUBOULOZ (Marius). — Comptabilité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique (Bibliographie) 633

DUBROCA (Marcelin). — La doctrine einsteinienne devant les faits périodiques et la réfraction lumineuse. Sur l'intelligence au travail (Bibliographie) 387

DUMANOIS (Paul) — Moteur Diesel à injection mécanique 334

DUNBAR (J.-R.). — Voir *Ricker (H.-A.)*, *Dunbar (J.-R.)* et *Day (R.-E.)*..... 544

DUNOYER (L.). — Présentation d'un appareil d'éclairages pour films sonores..... 440

DUNSHEATH (P.). — High voltage cables (Les câbles à haute tension) (Bibliographie)..... 298

DUTOIT (Marc). — Permanence du service des entreprises de production et de distribution d'énergie électrique 848

DUTT (E.). — Perfectionnements dans les piles primaires et secondaires..... 791

DWIGHT (Herbert-Bristol). — Calcul relatif à la protection d'une ligne de transmission par conducteurs reliés à la terre 667

DWIGHT (H.-B.) et SAYLES (P.-W.). — L'inductance mutuelle de courts solénoïdes coaxiaux et concentriques 650

DYER (L.-W.). — Essais à 220 000 volts d'interrupteurs à grilles « deion »..... 107

EBLÉ (L.). — Manuel pratique du magnétisme (Bibliographie) 468

ECLAIRAGE DES VÉHICULES SUR RAILS (SOCIÉTÉ L'—). — Dispositif pour la charge des batteries d'accumulateurs 794

ECLAIRAGE ET D'APPLICATIONS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ D' —). — Dispositif obturateur destiné en particulier aux orifices de remplissage des accumulateurs pour lampes de mines 660

EDISON (SOCIÉTÉ ACCUMULATEURS —). — Perfectionnements aux accumulateurs 788

EHLINGER. — La chaudière Atmos..... 332

ELA ELEKTRISCHE GRUBENLAMPEN UND AKKUMULATOREN. — Accumulateur 704

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D' —). — Accumulateurs électriques à tension de charge réduite 654

— Procédé de séchage des plaques d'accumulateurs électriques 656

— Procédé de fabrication d'accumulateurs électriques au plomb 656

— Procédé de fabrication de plaques au plomb spongieux résistant à l'air, destinées aux accumulateurs électriques 656

— Dispositif de fermeture hermétique d'accumulateurs électriques 658

— Fermeture pour accumulateur au plomb..... 659

— Soupape pour éléments d'accumulateurs..... 660

— Séparateur avec baguettes d'écartement pour accumulateurs électriques au plomb..... 662

— Séparateurs pour accumulateurs électriques au plomb, constitués par des plaques de bois renforcées de nervures 662

— Procédé de remplissage des accumulateurs électriques 697

— Prise de courant pour accumulateurs électriques, piles ou générateurs divers d'énergie électrique.. 699

— Pôle pour accumulateurs électriques au plomb.. 700

— Mode de fixation des prises de courant sur les bacs d'accumulateurs électriques..... 701

— Connexion des éléments des batteries d'accumulateurs électriques au plomb..... 701

— Prise de courant antidéflagrante..... 702

— Ecrou isolé pour borne d'accumulateurs électriques 703

— Nouveau procédé de montage des batteries d'accumulateurs électriques 704

— Accumulateur électrique 706

— Bague isolante pour accumulateurs électriques formés par des électrodes bipolaires..... 707

— Dispositif pour le prélèvement des tensions intermédiaires aux batteries d'accumulateurs dont les éléments constitués par des électrodes bipolaires et des bagues isolantes sont reliés par des tirants.. 707

— Electrodes bipolaires pour accumulateurs électriques 708

— Dispositif de montage rigide des batteries d'accumulateurs dont les éléments composés d'électrodes bipolaires et de bagues isolantes sont reliés par des tirants 708

— Batterie d'accumulateurs électriques à électrodes bipolaires 708
— Lampe à accumulateur particulièrement prévue pour les motocyclettes 709
— Batterie d'accumulateurs à électrodes doubles.. 709
— Perfectionnements à la construction des batteries de tension pour téléphonie sans fil et tous autres usages 745
— Dispositif de sécurité pour le branchement des accumulateurs électriques portatifs..... 747
— Fermeture de couvercle pour caisses de batteries d'accumulateurs électriques 747
— Dispositif pour le montage d'éléments d'accumulateurs électriques dans des caisses..... 747
— Montage d'accumulateurs électriques dans les caisses 748
— Electrodes pour accumulateurs à électrolyte alcalin et leur fabrication 749
— Barres collectrices profilées en double T, en U ou autres pour la connexion des plaques en plusieurs pièces d'électrodes d'accumulateurs à électrolyte alcalin 749
— Procédé pour la préparation de flocons de nickel servant de matière d'addition à la masse des accumulateurs alcalins 749
— Procédé et appareil pour l'introduction de la masse active dans les électrodes tubulaires des accumulateurs alcalins 749
— Procédé pour la production électrolytique de minces couches superposées de nickel et pour la séparation de celles-ci entre elles..... 750
— Couvercle avec joint pour batteries constituées par des accumulateurs à électrolyte alcalin destinées aux lampes de mines ou autres..... 786
— Pièce moulée pour l'isolement des plaques d'accumulateurs alcalins, en particulier pour lampes de mines à deux éléments..... 786
— Couvercle avec joint pour batteries constituées d'accumulateurs à électrolyte alcalin pour lampes de mines et autres..... 786
— Connexion des tiges polaires des accumulateurs alcalins avec leur couvercle..... 786
— Dispositif de fixation des tôles isolantes entourant le groupe de plaques des accumulateurs alcalins 786
— Accumulateur électrique à électrolyte alcalin.... 787
— Accumulateur électrique à électrolyte alcalin et à électrode polaire positive contenant comme masse active, des combinaisons oxygénées du nickel.. 787
— Batterie d'accumulateurs alcalins 787
— Accumulateur électrique à électrolyte alcalin et plaques positives à poches..... 787
— Bouchon à orifice d'échappement des gaz pour accumulateurs électriques 788
— Groupe de plaques doubles ou multiples pour accumulateurs à électrolyte alcalin 789
— Séparateur d'acide spécialement destiné aux chambres de batteries d'accumulateurs électriques. 796
— Séparateur d'acide pour locaux de batteries d'accumulateurs 796

Electricité (Compagnie lorraine d' —). — La mise à la terre du neutre sur son réseau de 65 000 volts 836
— La marche en parallèle des centrales..... 888
— Les coefficients de diversité et d'utilisation.... 976

Elektrotechnischer Verein. — Geschichtliche Einzeldarstellungen aus der Elektrotechnik (Exposé de quelques faits historiques de l'électrotechnique) (Bibliographie) 802

Elektrotectnicky svaz ceskoslovensky. — Permanence du service de distribution..... 846

Elsner (H.). — Accumulateur électrique..... 706

Escande (L.). — Voir *Camichel (C.)*, *Leclerc du Sablon (J.)* et *Escande (L.)*. 1005

Evain (A.). — Le groupement des centrales métallurgiques du bassin de Briey..... 806

Everett (C.-H.). — Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs 652, 660, 699

Everett (C.-H.) et Carr (G.-R.). — Batterie d'accumulateurs 706
— Bac de batterie d'accumulateurs 748

Farad (Société Accumulateurs —). — Bac d'accumulateurs 657
— Nouvelle disposition d'assemblage de plaques d'accumulateurs 705
— Nouvelle disposition de montage des éléments multiples des batteries d'accumulateurs..... 745

Farbenindustrie a.-g. (Société I.-G. —). — Procédé de préparation d'électrodes négatives pour accumulateurs 655
— Procédé de fabrication d'accumulateurs..... 655
— Procédé de fabrication d'électrodes en plomb pour accumulateurs 655
— Procédé de fabrication de plaques pour accumulateurs 655
— Electrodes pour accumulateurs Edison..... 750

Faucher (A.). — Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques 705

Feichheimer (Carl-J.). — La ventilation d'alternateurs à pôles saillants 374

Féraud. — Sur la tension non dangereuse des courants électriques 1022

Fernand-Jacq. — La désignation des pièces détachées 77
— La désignation des pièces détachées et la question des références 421
— Le projet de réforme de la loi sur les marques de fabrique 835

Ferranti (S.-Z.). — Nécrologie..... 42

Féry (C.-G.-V.). — Perfectionnement aux accumulateurs 654
— Bouchon protecteur pour conserver la charge et éviter la sulfatation des accumulateurs au plomb. 660
— Dispositif séparateur pour accumulateurs électriques au plomb 661

Finocchi (Giuseppe). — Il flattore di potenza (Le facteur de puissance) (Bibliographie) 428

Fielder (F.-D.) et Beck (Edward). — Effets de surtensions dues à la foudre sur les machines rotatives et méthodes de protection contre ces surtensions 834

Fister (Gaston). — Etablissement de la formule générale des champs tournants à l'aide des nombres complexes 947

Flatt. — Turbines à vapeur à très haute pression. 333

Fleck (F.). — Diagrammes vectoriels et repérage des bornes des transformateurs triphasés..... 299

Foch (A.) et Laurent (Jean). — Note sur la difficulté présentée par les mesures au moulinet.... 673

Foehringer (Mme). — Rapport de la Sous-Commission des Unités électriques du Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures (Réunion de juin 1930).... 124

FORRER (R.). — Voir *Weiss (Pierre)* et *Forrer (R.)*. 176

FORTA INTREPRINDERI ELECTRO-MECANICE (SOCIÉTÉ). — Procédé de fabrication d'un accumulateur plomb-cuivre 790

FORTESCUE (C.-L.). — L'application des résultats des recherches sur les surtensions à l'étude des réseaux de transmission 335

FRACANZANI (Giacomo). — L'organisation industrielle du service de mesures d'une grande entreprise d'électricité 979

— L'influence de la tarification de l'énergie réactive sur l'exploitation technique et commerciale des installations électriques en rapport aux résultats obtenus par le groupement Società Adriatica di Elettricità 1027

FRANCK (C.). — Le parafoudre universel « corona » à chambre d'ionisation 441

FRÉJACQUES (J.-L.-M.). — Dispositif automatique pour le remplissage des accumulateurs..... 697

FREUDENBERG (A.). — Voir *Héroult (P.)* et *Freudenberg (A.)* 651

FREY (H.-H.) et SKIPPER (E.-M.). — Dispositifs de garde munis de fusibles 154

FRICK (C.-W). — Voir *Schurig (O.-R.)* et *Frick (C.-W.)* 32

FROIDEVAUX (J.). — Etude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée 389

FROMONT (Gaston). — Procédé pour la conservation de plaques chargées d'accumulateurs électriques et application de plaques obtenues par ce procédé 656

FULLILOVE (J.-A.). — Voir *Haddon (W.)*, *MacDonald Burnett (J.)* et *Fullilove (A.)*..... 702

FULMEN (SOCIÉTÉ NOUVELLE DE L'ACCUMULATEUR). — Machine à empâter les plaques d'accumulateurs électriques 654

— Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs. 699

FURUKAWA DENKI KOGYO KABUSHIKI KAISHA (SOCIÉTÉ). — Plaques d'accumulateurs et leur procédé de fabrication 656

GALLOIS (A.-G.). — Procédé et appareils de recharge automatique des accumulateurs..... 792

GALMICHE (Ch.). — Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones 3, 43

— A propos du fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones.... 194

GANGUILLET (O.). — La statistique internationale de la production et de la distribution d'énergie électrique 1031

GARCZYNSKI (J.). — La coexistence des lignes d'énergie et des lignes de télécommunication..... 894

GENISSIEU (E.). — Discours prononcé au Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique..... 768

GENKIN (V.). — Diagramme de fonctionnement d'un transformateur autorégulateur à enroulement mobile 13

— La méthode dite des constantes généralisées et son application à l'étude de lignes de transmission d'énergie 349

— A propos de l'étude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée 593

GHETTI (O.). — Réduction des pointes de charge et utilisation de l'énergie résiduelle..... 984

GILLIEAUX (A.). — Voir *Hubert (R.)* et *Gillieaux (A.)* 747

GIULIO DE MARCHI. — Idraulica (Hydraulique), tome I (Bibliographie) 347

GIVELET (A.). — L'orgue électronique..... 895

— Voir *Coupleux (E.)* et *Givelet (A.)*..... 710

GOETZ (A.). — Les facteurs mécaniques et magnétiques capables d'exercer une influence sur l'orientation et la perfection de cristaux isolés de bismuth 91

GOULD (H.-A.). — La décharge en couronne..... 484

GRANT (R.-M.-W.). — Mesure des pertes dans le fer dans les transformateurs triphasés à trois noyaux 336

GRAS (P.). — Borne pour accumulateur électrique protégeant les connexions contre l'attaque par l'électrolyte 700

GROSLIER (L.). — La publicité dans une société de distribution d'énergie électrique 973

GRUNBERG (G.). — Les organes de pivotage des compteurs d'électricité 273

GUTTON (H.). — Recherches sur les propriétés diélectriques des gaz ionisés et la décharge en haute fréquence 686

HAAS (Arthur). — La mécanique ondulatoire et les nouvelles théories quantiques (Bibliographie).... 634

HADDON (W.) et MACDONALD BURNETT (J.). — Perfectionnements aux grilles ou plaques d'accumulateurs garnies de pâte 663

HADDON (W.), MACDONALD BURNETT (J.) et FULLILOVE (J.-A.). — Perfectionnements aux conducteurs de connexions électriques, plus particulièrement applicables aux éléments d'accumulateurs. 702

HAGUE (B.). — Alternating current bridge methods (Emploi des méthodes de pont en courant alternatif) (Bibliographie) 387

HAHN (Ernest). — Les turbines hydrauliques à grande puissance pour basses chutes..... 332

HAK (J.). — Quelques remarques sur la concurrence entre l'énergie thermique et l'énergie hydraulique et sur la fourniture de l'énergie de pointe..... 529

HALL. (E.-L.). — Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piezoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion 92

HALLO (H.-S.). — La vérification et l'entretien des compteurs 977

HALTEREN (P. VAN). — Voir *Ryffranck (J.)* et *Halteren (P. van)* 974

HAMBURGER (F.). — Les molécules polaires et leur contribution aux pertes d'énergie dans les diélectriques 822

HAMMOND (H.-E.). — Phénomènes de force électromotrice, de résistance et de capacité ayant pour siège les piles photovoltaïques contenant des composés organomagnésiens de Grignard..... 779

HANOCQ (Charles). — Etat actuel de la théorie élémentaire des turbomachines 334

HARDIVILLÉ (D'). — Solution pour recharge instantanée et désulfatage des accumulateurs électriques.. 696

HARRISON (N.). — Perfectionnements aux batteries d'accumulateurs électriques 703

HARTMANN (J.). — Le redresseur à jet de mercure. 581

HÉGLY (V.-M.). — Note sur la répartition des vitesses dans un canal à profil complexe..... 673

HELD (S.). — Machines à bobiner les tores sans entrefer 207

HEMSTREET (J.-G.). — Voir *MacEachron (K.-B.)*, *Hemstreet (J.-G.)* et *Rudge (W.-J.)* 154

HÉROULT (P.) et FREUDENBERG (A.). — Accumulateur électrique 651

HERRY (L.). — La chaudière Benson..... 333

HERRY (Léopold). — Les derniers progrès dans la construction des grandes centrales thermiques.... 803

HERVIEUX (M.). — Bouchon verseur pour le remplissage des bacs d'accumulateurs 699

HEUZEY (Marcel). — Voir *Caillard (Société)* et *Heuzey (Marcel)* 657
— Voir *Caillard* et *Heuzey (Marcel)* 746

HOFBAUER (Richard). — Oesterreichs zukünftige Energiewirtschaft (Les perspectives d'avenir de l'électrification de l'Autriche) (Bibliographie).... 714

HOLBROOK (Mme). — Perfectionnements aux piles et accumulateurs électriques 698

HOLM (A.-R.). — Transmission du mouvement par câble du système Johann Ovrebek..... 334

HOLWECK (F.). — Appareils producteurs de rayons X, intenses et monochromatiques de très grande longueur d'onde. Tube à rayons X à potentiels échelonnés fonctionnant sous haute tension..... 271

HORNIBROOK (F.-C.). — Voir *Stanley (R.-M.)* et *Hornibrook (F.-C.)* 459

HUBERT (R.) et GILLIEAUX (A.). — Lampe de mine électrique à accumulateur 747

HUGUET (M.). — Perfectionnements apportés dans l'établissement des accumulateurs, piles électriques, transportables et stationnaires..... 747

HUITRIC (J. et V.). — Dispositif pour contrôler le niveau de l'électrolyte dans les accumulateurs électriques 697

HULUBEL (Horia). — Sur l'obtention d'hydrogène très pur et en quantités notables à l'aide d'un osmorégulateur électrolytique à palladium..... 486

HUSSON (Suzanne). — Action mécanique exercée sur un conducteur par les ondes électromagnétiques.. 563

IBLER (Jaroslav). — Les conditions techniques pour la marche en parallèle des usines centrales..... 889

ILÏYNE-BERLINE, VARET ET Cie (ETABLISSEMENTS —). — Perfectionnements aux dispositifs de charge automatique des batteries d'accumulateurs au plomb 793

IMBS (Ed.). — La propagande générale d'éclairage de quelques pays appartenant à l'Union internationale 923

INGRAM (W.-H.). — La théorie dynamique des machines à courant alternatif et le problème de la stabilité des systèmes de transmission d'énergie électrique 863

INSTITUT NATIONAL ROUMAIN POUR L'ETUDE DE L'AMÉNAGEMENT ET DE L'UTILISATION DES SOURCES D'ENERGIE. — Le problème de la tarification de l'énergie électrique 1024

JABLOVSKI (Boleslaw). — L'organisation du service des compteurs dans les usines centrales d'électricité 980

JACOBSEN (J.-C.). — Le dénombrement photographique des particules *a*..... 864

JADOT (Albert-J.). — Sur la mesure des débits en conduite forcée par la méthode des tuyères..... 331

JAQUET (E.). — Régulateurs pour turbines hydrauliques 249

JASSE (Erich). — Die Elektromagnete (Les électroaimants) (Bibliographie) 426

JAYOT. — Etude comparée des chemins de fer d'intérêt local en souterrain et à la surface du sol.. 716

JOLIOT (F.). — Voir *Biquard (B.)* et *Joliot (F.)* (Bibliographie) 42

JONNART (André). — La protection sélective..... 850

JOUAUST. — Rapport de la Sous-Commission des Etalons photométriques du Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures (Réunion de juin 1930).... 123

JUMAU (L.). — Sur la théorie de l'accumulateur au plomb 311
— Les accumulateurs électriques d'après les brevets récents 651, 696, 744, 786
— Voir *Laffargue (J.)* et *Jumau (L.)* (Bibliographie) 164

KALANTAROFF. — A propos des équations aux dimensions des grandeurs électriques et magnétiques 161

KAMEYAMA (Joji). — Voir *Shida (Fumio)* et *Kameyama (Joji)* 526

KARRER (J.). — La turbine à vapeur Oerlikon dans les tendances modernes 333

KEARTON (W.-J.). — L'influence de la sursaturation sur le rendement thermique des installations à deux fluides utilisant de la vapeur de mercure et de la vapeur d'eau 334

KENNELLY (A.-E.). — Unités et définitions adoptées par l'Assemblée plénière de la Commission électrotechnique tenue en Scandinavie en 1930..... 719

KEYES (Donald-B.) et SWANN (Sherlock). — Etude sur l'électrodéposition des métaux..... 174

KIEBITZ (F.). — Radiotechnik : Die elektrischen Wellen (Radiotechnique : Les ondes électriques) (Bibliographie) 802

KILLIAN (T.-J.). — La colonne positive uniforme d'une décharge électrique dans la vapeur de mercure 648

KOBAYASHI (Masatsug). — Mesures d'impédance pour des bobines utilisées avec superposition de courants alternatif et continu..... 357

KONCZYKOWSKI (Stanislas). — Les définitions principales qui caractérisent la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique..... 1031

KOSCHERAK SIPHON BOOTLE WORKS. — Borne de connexion pour batteries d'accumulateurs..... 701

KOTELNIKOFF (A.-K.). — A propos de la théorie du magnétisme 203
— Diagrammes des puissances dans les lignes de transmission d'énergie à longue distance..... 307

KREMER. — Perfectionnements apportés dans la construction du matériel roulant sur voies ferrées et sur routes 717

KRIEGER (L.). — Perfectionnements aux accumulateurs électriques 791

KROMANN (E.). — Borne d'accumulateur..... 700

KRON (Gabriel). — Théorie générale des machines électriques 752

KRUG (W.). — Sur la rapidité de l'allumage des redresseurs à vapeur de mercure 1006

KUGEL (M.). — Electrolyte pour accumulateurs au plomb 698

KYOKAI (Denki). — Le développement de l'éclairage électrique au Japon et la propagande en sa faveur. 927

LABINAL (ETABLISSEMENTS —). — Limiteur de charge de batterie 795

LAFAY (A.). — Recherches sur les figures de de Heen et l'effluve électrique 725

LAFFARGUE (J.) et JUMAU (L.). — Manuel pratique du monteur électricien (Bibliographie) 164

LAHR (O.). — La recombinaison des ions dans l'air et dans l'oxygène dans ses relations avec la nature des ions gazeux 779

LANE (C.-T.). — La susceptibilité magnétique du rubidium 528

LANGE. — Blocage de la voie par signaux automatiques pour les exploitations de voies uniques.... 718

LAPORTE (Marcel). — Les particularités de la décharge électrique dans les gaz rares au point de vue de leur application à l'éclairage..... 1038

LARGE (J.-M.). — Accumulateur cellulaire..... 705
— Accumulateur à oxydes rapportés logés entre des plaques de charbon 706

LATOUR (André). — Quelques résultats d'essais des convertisseurs à balais liquides..... 487

LAURENT (Jean). — Voir *Foch (A.)* et *Laurent (Jean)* 673

LAWRENCE (E.-O.) et LINFORD (L.-B.). — L'effet de champs électriques intenses sur les propriétés photoélectriques des métaux 908

LE CADRE (Maurice). — Exécution des enroulements des machines triphasées (Bibliographie)... 426

LECHIEN. — Discours prononcé au Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique 765

LECLERC DU SABLON (J.). — Voir *Camichel (C.)*, *Leclerc du Sablon (J.)* et *Escande (L.)*..... 1005

LECORNU (L.). — Propriétés générales des machines (Bibliographie) 514

LEFEBURE (E.-C.-H.). — Bac à épaulement interne pour accumulateur de batterie fixe à fort isolement 705

LEGNAIOLI (U.). — Utilisation du poussier de lignite comme combustible sous forme pulvérisée 188

LE MONNIER (J.). — Sur l'emploi des moteurs asynchrones en court-circuit 771

LESUEUR (H.). — Evolution du gros moteur à gaz en Belgique 334

LÉVY (G.-H.). — Bac d'accumulateur 657

LINFORD (L.-B.). — Voir *Lawrence (E.-O.)* et *Linford (L.-B.)* 908

LIVON (F.). — Bac en verre avec connexions permettant de former des batteries d'accumulateur électrique pouvant résister aux trépidations.... 658
— Dispositif empêchant la sortie de l'électrolyte liquide par les trous d'évent dans les accumulateurs électriques 658
— Dispositif de solidarisation permettant le groupement de plusieurs batteries d'accumulateurs électriques en un seul bloc pour téléphonie sans fil et autres applications..... 746

LO BALBO. — Automotrices à accumulateurs..... 716

LOEB (L.-B.). — Le problème du mécanisme de la décharge par étincelles 403

LOHR (H.). — Tension non dangereuse..... 1021

LOWRY (E.-F.). — Le rôle de l'âme de métal dans les filaments d'oxyde 780

LOWRY (W.-N.). — Le siège de la force électromotrice dans la pile photovoltaïque 404

LOYE (DE) et TOUZOT. — Dispositif perfectionné de fermeture des éléments de batterie d'accumulateurs 744

MACDONALD BURNETT (J.). — Voir *Haddon (W.)* et *MacDonald Burnett (J.)*. 653
— Voir *Haddon (W.)*, *MacDonald Burnett (J.)* et *Fullilove (J.-A.)* 702

MACEACHRON (K.-B.) et BRINTON (H.-G.). — Le fonctionnement des parafoudres à thyrite sous l'effet d'une onde de surtension propagée par un circuit quelconque 623

MACEACHRON (K.-B.), HEMSTREET (J.-G.), RUDGE W.-J.). — Expériences relatives à la propagation d'ondes engendrées par surtensions artificielles sur des lignes de transmission d'énergie..... 154

MALHERBE FRÈRES. — Perfectionnement aux accumulateurs électriques et à leur mode de fabrication 744

MAR (A. DEL). — Spécification et étude des câbles à haute tension aux Etats-Unis..... 584

MARCOTTE (Edmond). — L'art de bâtir une maison agréable et saine (Bibliographie)..... 802

MARNEFFE (Ignace DE). — Bloc d'alimentation totale, par accumulateurs à charge automatique, pour appareils de télégraphie et téléphonie sans fil 746
— Voir *Pellicioni (A.)* et *Marneffe (Ignace de)*.... 793

MARSDEN (J.-E.). — Bac d'accumulateur en verre matelassé 658

MARTI (O.-K.) et WINOGRAD (H.). — Mercury arc power rectifiers (Les redresseurs à vapeur de mercure) (Bibliographie) 970

MARTINET (M.). — Contribution à l'étude hydrologique du versant ouest du Plateau central..... 495

MASA (P.). — La vérification et l'entretien des compteurs 978

MATHIAS (E.). — La foudre globulaire 761

MATTHEY-DORET (A.) et STOECKLIN (J.). — Essais des relais sélectifs Brown Boveri dans un réseau en service normal 153

MATTHIAS. — Electrode en forme de borne condensateur empêchant l'apparition des étincelles rampantes dans les essais de rigidité diélectrique.... 251

MAUDUIT (A.). — Prescriptions spéciales relatives aux installations de la première catégorie particulièrement exposées aux effets de la foudre.... 1007

MAYO (C.-G.). — Voir *Wellings (J.-G.)* et *Mayo (C.-G.)* 416

MELZER (H.). — Méthode graphique de représentation et de comparaison de divers tarifs de vente de l'énergie électrique basés sur le caractère de la consommation avec égard spécial aux tarifs des entreprises électriques de Prague 1026

MESTRE (Achille). — L'enregistrement des accords entre concessionnaires de chutes et titulaires de droits d'eau 191
— Les conditions légales d'établissement des postes de radiodiffusion 463
— La revision des baux de force motrice des cours d'eau 587

MEUNIER (R.-W.). — L'usine hydroélectrique de Riedji à commande automatique 781

MEYER et WAHL (SOCIÉTÉ —). — Collier de serrage pour bornes d'accumulateurs électriques au plomb 703

MICHIELS (E.). — Accumulateur électrique démontable 704

MIESSNER (B.-F.). — Suppression des bourdonnements dans les récepteurs radiotéléphoniques alimentés par un réseau de distribution..... 313

MINES (COMPAGNIE FRANÇAISE AUXILIAIRE DES —). — Levier de contact pour bancs de charge d'accumulateurs 793
— Banc de charge d'accumulateurs 795

MINORSKY (N.). — La conduction électrique et l'ionisation dans des champs électrique et magnétique croisés 562

MIREAUX (Emile). — Les miracles du crédit (Bibliographie) 634

MOHLER (F.-L.) et BOECKNER (C.). — La photoionisation du césium par l'absorption discontinue.... 908

MONMERQUÉ (A.). — L'usine électrique de Guerlédan et le réseau de distribution de l'Union hydroélectrique armoricaine 315

MONOPLAQUE (SOCIÉTÉ ANONYME DES ACCUMULATEURS. —). — Plaque composée pour accumulateurs électriques 652
— Procédé de traitement des plaques d'accumulateurs permettant leur conservation à l'état chargé et sec 657
— Système d'isolement pour plaques d'accumulateurs électriques 661
— Procédé et dispositifs pour la fabrication de séparateurs isolants pour plaques d'accumulateurs et autres applications 662
— Electrolyte spécial pour accumulateur à plaque négative en zinc (Invention Orlandi)..... 790

MORLET (Ernest). — Voir *Brillié (Jean)* et *Morlet (Ernest)* 620

MORTIMORE (R.-H.). — Mesure de l'intensité des champs magnétiques périodiques de haute fréquence 610

MULINEN (E. DE). — Système Brown Boveri de commande à distance à sélecteurs 1014

MUNZINGER (F.). — La vapeur à très haute pression (Bibliographie) 348

MUSIL (Ludwig). — Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektrizitätswerke (L'accumulation de l'énergie, au point de vue économique, dans les usines génératrices d'énergie électrique) (Bibliographie) 348

NACHOLINSKI. — La nécessité d'une statistique des irrégularités de marche des centrales thermiques. 849

NACHTERGAL (A.). — Calcul et construction des grues (Bibliographie) 388

NEMETH (K.) et SZANTO (A.). — Accumulateur zinc-plomb 789

NESSI (A.). — Nouvelles méthodes de calcul de la puissance variable d'une installation de chauffage central fonctionnant en régime discontinu.. 713

NEU (Lucien). — Nécrologie..... 1017

NEWTON (D.-A.). — Recherches sur la cataphorèse de petites particules en suspension dans l'eau.. 272

NIESZ (H.). — La marche en parallèle des centrales électriques 887

NOTTINGHAM (W.-B.). — La mesure des petites différences de potentiel continues et des courants dans des circuits de grande résistance, par l'emploi des tubes à vide..... 355

NESTRYPKE. — Comparaison des transports en commun : chemins de fer d'intérêt local, tramways et omnibus automobiles 716

O'KEENAN (C.-E.). — Perfectionnements apportés aux lampes de poche et autres lampes à accumulateurs 795

OLDHAM AND SON LIMITED et WILDE (W.-D.). — Batteries galvaniques 657

OLPIN (A.-R.). — Méthode d'accroissement de la sensibilité des cellules photoélectriques à métaux alcalins 947

PAINLEVÉ (Paul). — Leçons sur la résistance des fluides non visqueux (Bibliographie)..... 514

PALET (F.-T.). — Charge pour batteries d'accumulateurs électriques 697

PALUEFF (K.-K.). — Influence des tensions transitoires sur l'établissement des transformateurs de puissance 1049

PARVILLÉ (E.). — Perfectionnements aux accumulateurs à grande capacite 653
— Connexions pour accumulateurs..... 701

PARVILLÉ (E.) et DÉVELOPPEMENT DE LA TRACTION PAR ACCUMULATEURS (SOCIÉTÉ FINANCIÈRE POUR LE —). — Perfectionnements aux séparateurs pour accumulateurs 663

PARVILLÉ ET Cie (SOCIÉTÉ ED. —). — Perfectionnements aux accumulateurs 652
— Accumulateurs 653

PAUSERT (T.). — Le poste central de contrôle et de commande électrique à distance de la chauffe à

l'usine d'Issy-les-Moulineaux de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité..... 949

PECHEUX (H.). — Intensité lumineuse moyenne conique. Applications à l'éclairage électrique des surfaces circulaires 429, 610

PELLICIONI (A.) et MARNEFFE (Ignace DE). — Combinateur rotatif permettant la mise en série, ou en parallèle, de batteries d'accumulateurs 793

PERRIER (M.). — Traces de balais sur les bagues de machines synchrones 413

PERRIN (Gabriel-Henri). — Méthode de calcul des flux, des franges et de la répartition du potentiel au voisinage d'un point dans un espace dont une section est délimitée par des droites..... 469

PESTARINI (Joseph-Maxime). — Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne.....227, 260
— Les métadynes entre elles et leurs dérivées.813, 851, 900

PETIT (A.). — Pertectionnements aux piles et accumulateurs électriques 792

PETIT (G.). — Dispositif évitant l'écoulement du liquide dans les récipients tels que bacs d'accumulateurs et analogues 660

PÉTRIK (F.). — Fermeture de plaques et de pôles pour accumulateurs électriques 702

PFALZGRAF (C.). — Boîte-support pour accumulateurs 746

PFORR. — Expériences nouvelles relatives au freinage des voitures de tramways 717

PIERCE (G.-W.). — Voir *Drake (F.-H.)*, *Pierce (G.-W.)* et *Dow (M.-I.)* 93

PINARD (P.-H.). — Les tendances du développement de la consommation, de l'organisation commerciale et de la propagande en France..... 927

PLANCHE (R.). — Dispositif automatique pour le démarrage des moteurs électriques 873

PLATRIER (Charles). — Radiodiffusion en France de l'atterrissage des aviateurs Costes et Bellonte aux Etats-Unis 752

PODOSKI. — Etude sur les phénomènes de corrosion électrolytique 718

PŒRSCKE ELEKTRICITATS-GESELLSCHAFT. — Bac d'accumulateur 658

POLACK (R.). — La permanence du service de distribution 845
— Les accidents sur les réseaux aériens à moyenne tension 928

POMEY (J.-B.). — Champ électrique produit en présence du sol par un fil conducteur de courant alternatif 985

PONTE. — Recherches sur la diffraction des électrons. Analyse électronique 608

PORCHET (M.). — Eclairage électrique et utilisations ménagères de l'électricité dans les réseaux ruraux 679

PORTE (A.-J.-André DE LA). — Procédé de fabrication d'un électrolyte pour accumulateurs au plomb-peroxyde de plomb et d'un accumulateur pourvu de cet électrolyte 698

POUCHAIN (A.). — Electrode de plomb pour accumulateurs électriques 651

— Electrode négative pour accumulateurs électriques 789
— Système de fonctionnement des accumulateurs électriques plomb-zinc 789
— Electrode négative pour accumulateurs électriques à base de zinc..... 789

PREAU (Gaston). — Guide formulaire pour la vente amiable des fonds de commerce, à l'usage des vendeurs, acquéreurs, intermédiaires (Bibliographie) 388

PRUNIER (F.). — L'électricité, l'éther et les quanta 635

RAVEAU (C.). — Sur l'utilisation à la production de l'énergie de la différence de tension de la vapeur émise à la même température par l'eau douce des fleuves et l'eau salée des mers..... 609
— A propos de l'utilisation des fleuves à leur embouchure : Rectification 970

RAYNAUD (L.). — Limiteur de charge pour génératrices plus spécialement applicable aux voitures automobiles 793

REID (C.-D.). — Quelques recherches sur la vitesse du son aux fréquences ultrasonores, obtenues au moyen d'oscillateurs en quartz 689

RENESSON. — Considérations sur les limites de précision de la mesure de l'énergie électrique en haute tension 978

REYVAL (J.). — Importations et exportations françaises pendant les six premiers mois de l'année 1930 499
— Importations et exportations françaises pendant les neuf premiers mois de l'année 1930..... 1051

RICCIA (A. DELLA). — L'aspect financier de l'application de la récupération d'énergie à la traction des chemins de fer métropolitains..... 137

RICHTER (Rudolf). —Elektrische Maschinen (Les machines électriques), t. II (Bibliographie)..... 594

RICKER (H.-A.), DUNBAR (J.-R.) et DAY (R.-E.). — Compensateurs synchrones de 25 000 kilovolts-ampères à axe vertical pour fonctionnement à l'extérieur 544

RIEUNIER (P.). — Unification de la fréquence dans la région parisienne 803

RILEI (T.-N.). — Les câbles souterrains à haute tension en Angleterre 668

RITTER (J.-G.). — Voir *Stone (Morris)* et *Ritter (J.-G.)* 18

ROESER (W.-F.). — Echelles thermoélectriques des températures 135

RONCALDIER (A.). — La marche en parallèle des grands réseaux 890

ROSEAU (M.). — L'emploi des supports en bois dans les lignes de transmission d'énergie électrique à très haute tension 576

ROSS (T.-W.) et BELL (H.-B.). — Progrès récents réalisés dans les systèmes de protection des lignes de transmission et de distribution d'énergie. 1011

ROUSSEAU (L.-F.-J.). — Perfectionnements aux accumulateurs électriques 706
— Perfectionnements aux accumulateurs 708

ROWLAND EDWARDS AND COMPANY LTD. — Perfectionnements aux boîtes ou récipients pour accumulateurs électriques 659

RUDENBERG (Reinhold). — Die Relaissteuerungen der modernen Starkstromtechnik (La commande par relais dans la technique moderne des courants forts) (Bibliographie) 970

RUDGE (W.-J.). — Voir *Mac Eachron* (*K.-B.*), *Hemstreet* (*J.-G.*), et *Rudge* (*W.-J.*)..... 154

RYFFRANCK (J.) et HALTEREN (P. VAN). — Le développement de la traction électrique par accumulateurs en Belgique 974

RZASNICKI (Joseph). — Règlements officiels concernant la vérification et le poinçonnage des compteurs d'électricité et des transformateurs de mesure considérant surtout les prescriptions en vigueur en Pologne 980

RZIHA (E.-V. et SEIDENER (J.). — Starkstromtechnik (La technique des courants forts) (Bibliographie) 226

SALDA (C. DELLA). — La chute de tension dans les transformateurs à trois enroulements 437

SALOMON (T.). — Voir *Weiss* (*H.*) et *Salomon* (*T.*) 61, 97

SANTET (G.). — Borne pour accumulateurs électriques et autres appareils 702

SARTAKOFF (J.-D.). — Dispositif d'alimentation de batteries d'accumulateurs 698

SARTRE (L.). — Les tendances actuelles du développement de la consommation et la propagande.. 931

SAYLES (P.-W.). — Voir *Dwight* (*H.-B.*) et *Sayles* (*P.-W.*). 650

SCHLAG (Albert). — La mesure du débit en conduite forcée par diaphragmes en mince paroi 331

SCHMID (Walter). — Un nouveau point de vue pour la détermination des qualités des câbles isolés sous plomb à haute tension 127

SCHNEIDER (O.). — Plaque positive applicable aux accumulateurs électriques utilisée notamment dans les lampes de mineur 706

SCHONHOLZER (Ernst). — Un programme économique d'électrification pour l'Europe 759

SCHULZ (W.). — Schaltung und Regelung elektrischer Heizeinrichtungen (Montage et réglage des dispositifs de chauffage électrique) (Bibliographie) 802

SCHURIG (O.-R.) et FRICK (C.-W.). — Echauffement et intensités de courant admissibles dans les conducteurs nus installés à l'extérieur 32

SCHWARBERG (Eugène). — Nécrologie 427

SCHWARZKOPF (E.). — Le diagramme de courant du moteur Boucherot à double cage à partir d'essais indirects 83

SEAQUIST (E.-O.). — Voir *Whittemore* (*H.-L.*), *Adelson* (*J.-S.*), et *Seaquist* (*E.-O.*) 528

SEGALL (A.) — Réseaux maillés souterrains à basse tension sans protection spéciale contre les surintensités de courant 693

SEIDENER (J.). — Voir *Rziha* (*E.-V.*) et *Seidener* (Bibliographie) 226

SEKUTOWICZ. — Emploi de métaux légers dans les installations de lignes aériennes de traction..... 718

SHAW (P.-E.). — La nature du frottement (triboélectricité) 60
— Production de l'électricité par frottement 175

SHEA (T.-E.). — Transmission networks and wave filters (Réseaux de transmission et filtres) (Bibliographie) 386

SHIDA (Fumis) et KAMEYAMA (Joji). — La tension mécanique maximum admissible pour les câbles d'aluminium 526

SIEG (E.). — Plaque d'accumulateur..... 651

SIEGEL (G.). — Die Elektrizitätsgesetzgebung der Kulturländer der Erde (La législation de l'électricité dans les pays civilisés du monde) (Bibliographie) 763

SILICA GEL CORPORATION (Société THE —). — Composition pour plaques de batteries d'accumulateurs 654
— Mode de traitement de plaques de batteries d'accumulateurs chargées 656
— Batterie d'accumulateurs 698

SILVA (Giovani). — Utilisation des isolateurs de traversée pour les mesures industrielles 73

SINGER (G.). — Voir *Taylor* (*L.-S.*) et *Singer* (*G.*)... 780

SKIPPER (E.-M.). — Voir *Frey* (*H.-H.*) et *Skipper* (*E.-M.*). 154

SLEPIAN (J.). — Extinction des arcs de grande longueur en courant alternatif 287

SOCIÉTÉ FINANCIÈRE ÉLECTRIQUE. — Carte des usines génératrices, des réseaux de distribution et des lignes de transmission de l'Afrique du Nord (Bibliographie) 922

SOHIE (P.). — Commentaires sur les statistiques de consommation d'énergie dans les régions rurales 676
— L'électrification rurale en Belgique 932
— La propagande faite par les distributeurs belges d'énergie électrique 973

SOHLBERG (G.). — La ventilation des sous-stations.. 337

SOURISSEAU (J.-H.). — Le labourage électrique par treuil et câble de traction. Organisation d'un centre de labourage électrique 681

SOUSEDIK (J.). — Dispositif de récupération pour véhicules électriques à accumulateurs 796

STANE (F.). — Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques 792

STANLEY (R.-M.) et HORNIBROOK (F.-C.). — L'emploi de barres générales de protection au poste de sectionnement de Brunot Island de la Duquesne Light Company 459

STEFANINI (A.). — Le fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique 16

STEPHENS (E.). — L'effet Hall, la conductivité électrique et le pouvoir thermoélectrique de la série d'alliages plomb et antimoine 94

STOECKLIN (J.). — Voir *Matthey-Doret* (*A.*) et *Stoecklin* (*J.*). 153

STONE (W.-B.). — Perfectionnements aux accumulateurs 662

STONE (Morris) et RITTER (J.-G.). — Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement 18

STRASZEWSKI (Casimir). — La propagande auprès des abonnés, y compris diverses applications de l'électricité, les progrès de l'éclairagisme, les véhicules à accumulateurs 924

STROSCIA (Rodolfo). — Filetage rapide pour le tourneur mécanicien. Système Stroscia (Bibliographie) 388

STUBBINGS (G.-W.). — Commercial alternating currents measurements (Mesures en courant alternatif) (Bibliographie) 347

SUITS (Chauncey-Guy). — Analyse harmonique des ondes électriques avec le voltmètre thermoionique 270

SWANN (Sherlock). — Voir *Keyes* (*Donald-B.*) et *Swann* (*Sherlock*) 174

SWYNGEDAUW (R.). — Pertes d'énergie, diminution du couple et de la vitesse dans les transmissions par courroies et les paliers à billes 595

SZANTO (A.). — Voir *Nemeth* (*K.*) et *Szanto* (*A.*).. 789

TAENZER (Wilhelm). — Eiserne Gittermaste für Starkstrom-Freileitungen (Pylônes métalliques en treillis pour canalisations aériennes à courant fort) (Bibliographie) 554

TANBERG (R.). — Sur les phénomènes survenant dans la région cathodique de l'arc dans le vide.. 485

TAYLOR (L.-S.) et SINGER (G.). — L'étalonnage de la chambre à ionisation en forme de dé 780

TEBBAKA (SOCIÉTÉ PHOSPHATES ET SUPERPHOSPHATES DE). — Accumulateur électrique 790

TENOT (André). — Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse; tome I. (Bibliographie) 346
— Laboratoires d'essais mécaniques en Allemagne et en Suisse (tendance actuelle de la construction des turbomachines) (Bibliographie) 514

TERRY (I.-A.). — Convertisseur de fréquence de 35 000 kilowatts constitué par un groupe moteur synchrone et génératrice synchrone 963

THOMSON (J.-J.). — Le mouvement d'ions positifs lents dans les gaz 690

THOMSON-HOUSTON (COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS —). — Perfectionnements aux moyens de recharge automatique de batteries d'accumulateurs 794

TODD (F.-C.) et BROWNE (T.-E.). — Le rétablissement des arcs alternatifs de faible longueur.... 948

TOUZOT (A.-A.). — Séparateur pour accumulateurs électriques et procédé de fabrication de ce séparateur 663
— Batterie d'accumulateurs 746

TOWNSEND (J.-S.). — Les énergies des électrons dans les gaz 727

TRANSPORTS ET D'ENTREPRISES INDUSTRIELLES (SOCIÉTÉ FINANCIÈRE DE). — La nouvelle centrale de la Chade à Buenos-Ayres 804

TRIAU (L.). — Un système de protection sélective des lignes aériennes à haute tension 213

TUDOR (J.). — Perfectionnement aux accumulateurs électriques 703

TUDOR (SOCIÉTÉ BELGE ACCUMULATEURS —). — Dispositif de remplissage de l'électrolyte et d'évacuation des gaz dans les accumulateurs électriques 697

TURPAIN (Albert). — A propos des supraconducteurs 560

TYLER (F.). — Les caractéristiques magnétiques du nickel 649

UNIONE NAZIONALE FASCISTA INDUSTRIE ELETTRICHE. — Permanence du service de distribution 846

ULMANN (Edward). — La propagande en faveur de l'électricité. organisée par la Compagnie d'Electricité de Lodz 973

ULRICH (Marcel). — Discours prononcé au Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.... 883

UYTBORCK (Em.). — Extension des réseaux d'électricité aux hameaux et fermes isolés..... 675
— La permanence du service de distribution..... 843

VACHERON (E.). — Voir *Delpech* (*J.*) et *Vacheron* (*E.*) 652, 709

VANDEGHEN (A.). — Etude du fonctionnement des turbomachines en mouvement varié 334
— *Voir Berthier* (*J.*) et *Vandeghen* (*A.*) 333

VECCHIACCHI (P.). — Conversion statique de fréquence et harmoniques 58

VERDE (A. DALLA). — La ligne de transmission d'énergie à 220 000 volts de Cardano à Cislago de la Società idrolettrica Piemonte 359

VEREENIGING VAN DIRECTEUREN VAN ELECTRICITEITSBEDRIJVEN IN NEDERLAND. — Permanence du service de distribution 846

VÉRON (M.). — Nouvelle théorie du tirage naturel, prévision et fonctionnement d'une cheminée accouplée à un circuit de chauffage 713

VIEL (Georges). — Variation de la résistance des prises de terre traversées en permanence par un courant alternatif 611
— Etude d'un réseau à 400 000 volts 729

VINCENT (Marc). — Les sociétés d'exploitation de véhicules électriques, leur but, leur activité, les résultats obtenus 930

VIENNE (CENTRALE ÉLECTRIQUE DE LA VILLE DE). — Permanence du service de distribution..... 847

VOISIN (SOCIÉTÉ ANONYME DES AÉROPLANES G.). — Dispositif assurant le chargement rationnel des accumulateurs, notamment dans les véhicules automobiles 793

WADDICOR (H.). — Principles of electric power transmission by alternating currents (Principes de la transmission de l'énergie électrique par courants alternatifs) (Bibliographie) 1020

WALDORF (Sigmund-K.). — Le phénomène de couronne dans l'air 561

WALLOT (J.). — Verhandlungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrössen in den Jahren 1907 bis 1927 (Résolutions du Comité des Unités et des Symboles des années 1907 à 1927) (Bibliographie) 764

WALSH (J.-W.-T.). — Les photomètres modernes pour la mesure de l'éclairement et leur emploi.. 458

WARE (L.-A.). — L'effet Thomson dans les cristaux de zinc 691

WEISS (H.) et SALOMON (T.). — Le problème des huiles isolantes en électrotechnique 61, 97

WEISS (Pierre) et FORRER (R.). — La saturation absolue des substances ferromagnétiques et les lois d'approche en fonction du champ et de la température 176

WELLINGS (J.-G.) et MAYO (C.-G.). — Les transformateurs de mesure 416

WERNER. — Développement de l'équipement électrique du matériel roulant (moteurs suspendus, à grande vitesse, ventilés et compound) 717

WETZEL (J.). — La classification des appareils d'éclairage d'après la répartition du flux lumineux 95

WEYLAND (G.). — Pompes centrifuges d'alimentation pour chaudières à très haute pression 909

WHITTEMORE (H.-L.), ADELSON (J.-S.) et SEAQUIST (E.-O.). — Propriétés physiques des tubes d'acier soudés électriquement 528

WILCOX (H.-M.). — Voir *Baker (B.-P.)* et *Wilcox (H.-M.)* 542

WILDE (W.-D.). — Voir *Oldfram and Son limited* et *Wilde (W.-D.)* 657

WILLIAMS (S.-J.). — Perfectionnements dans la fabrication des accumulateurs ou batteries électriques 652

WILSON (E.-D.). — Voir *Zworykin (V.-K.)* et *Wilson (E.-D.)* 594

WINCH (G.-T.). — Photomètre photoélectrique à lecture directe pour l'essai des lampes à incandescence 1041

WINOGRAD (H.). — Voir *Marti (P.-K.)* et *Winograd (H.)*. 970

WOOD (B.-W.). — Décharges plasmoïdales oscillatoires à haute fréquence dans le vide « non conducteur » 907

WYMAN (J.). — Mesure des constantes diélectriques des milieux conducteurs 173

WYSSLING (W.). — Egalisation de la puissance à fournir par les centrales d'électricité..... 982

YERNAUX (Jules). — A propos de la décomposition des systèmes de trois vecteurs déséquilibrés .. 259

ZAKIEWICZ (Czeslaw). — La propagande pour l'application de l'électricité en Pologne 931

ZELENY (J.). — La chute de potentiel entre strates dans la décharge électrique traversant l'oxygène raréfié 907

ZIMMERMANN (E.-E.). — L'influence de la température sur la capacité et la résistance de polarisation de solutions d'acide sulfurique 206

ZWORYKIN (V.-K.) et WILSON (E.-D.). — Photocells and their applications (Les cellules photoélectriques et leurs applications) (Bibliographie)..... 594

INDEX DES ANNONCES

MATERIEL ÉLECTRIQUE

Accumulateurs.

Accumulateurs fixes et de traction (Société des), route de Meaux (Pont de la Folie), Romainville (Seine).

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Gramme (Société), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

Travail électrique des Métaux (Société pour le), 26, rue Laffitte, Paris (9e).

Tudor, 16, rue de la Baume, Paris (8e).

Appareillage électrique.

A. E. G. (Société française — pour l'Importation et la Vente en France du Matériel de l'Allgemeine Elektricitats Gesellschaft a Berlin), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

Als-Thom (Société générale de Constructions électriques et mécaniques), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Aluminium français, 23 bis, rue Balzac, Paris (8e).

Appareils électro-automatiques (Société industrielle d'), 104, rue Lecourbe, Paris (15e).

Asea (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

Backer (Adrien de), 66-68, rue Fernand-Severin, Schaerbeck-Bruxelels (Belgique).

Bardon, 61, boulevard National, à Clichy (Seine)

Bonvoisin, 35, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11e).

Cheveau (C.-H.) et Cie (Appareillage électrique industriel), 124, avenue Victor-Hugo, Dijon (Côte-d'Or).

Constructions électriques, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Delle (Ateliers de constructions électriques de), 25, chemin de Cyprian, Villeurbanne (Rhône).

Demoly (E.), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

Desmet (Etablissements), 222 à 226, rue Solférino, Lille (Nord).

Dreyfus et Spira (Etablissements), Ingersheim (Bas-Rhin).

Electricité (Compagnie générale d'), 54, rue La-Boétie, Paris (8e).

Fauris (Ch.), 81, rue d'Inkermann, Lyon (Rhône).

France (Constructions électriques de), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

Gardy (Société française), 23, rue de la Voie-des-Bancs, Argenteuil (Seine-et-Oise).

Gramme (Société), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

Iliyne-Berline, 12, boulevard du Temple, Paris (11e).

Japy frères (Etablissements), Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

Jeumont (Forges et Ateliers de Constructions électriques de), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Legendre frères, 27, rue Saint-Fargeau, Paris (20e).

Matériel électrique S. W. (Le), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

Merlin et Gerin (Etablissements), rue du Monestier-de-Clermont, Grenoble (Isère).

Monnier et Desjardin (Société anonyme des Etablissements), 197, rue Saint-Charles, Paris (15e).

Mors (Société d'Electricité), 11, rue Petit, Clichy (Seine).

Pantohm, représentant MM. Duplay et Sor, 13, rue de l'Aqueduc, Paris (10e).

Petrier, Tissot et Raybaud, 24, rue de la Part-Dieu, Lyon (Rhône).

Proner et Cie, 89, rue de la Roquette, Paris (11e).

Recherches et de Perfectionnements indutriels (Société de), 125, avenue du Président-Wilson, Puteaux (Seine).

Siemens-France, 17, rue de Surène, Paris (8e).

Soulé (Société anonyme des Etablissements industriels), Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).

Téléphones (Société industrielle des), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

Transformateur (Le), 15, avenue Matignon, Paris (8e).

Trévoux (Société des Condensateurs de), 52, rue de Dunkerque, Paris (9e).

Usinage et de matériel électrique (Société d'), 26, rue Gambetta, Boulogne-Billancourt (Seine).

Viéville (L.), 8, rue Rougemont, Paris (9e).

Charbons pour Balais et Lampes électriques.

Carbone (Le), 37 à 41, rue de Paris, Gennevilliers (Seine).

Charbons pour l'Electricité (Compagnie lorraine de), 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

Condensateurs.

CONDENSATEURS (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES) (Etablissements Ségal), 37, rue Henri-Martin, Colombes (Seine).

LYON (COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE), 41, chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

TRÉVOUX (SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE), 52, rue de Dunkerque, Paris (9e).

VARRET ET COLLOT (SOCIÉTÉ DES ETABLISSEMENTS), 7, rue d'Hautpoul, Paris (19e).

Construction électrique et mécanique.

A. E. G. (SOCIÉTÉ FRANÇAISE — POUR L'IMPORTATION ET LA VENTE EN FRANCE DU MATÉRIEL DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITATS GESELLSCHAFT A BERLIN), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ARCA (SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES RÉGULATEURS UNIVERSELS), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

ASEA (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

BACHELET (P.), 60 *ter*, rue Haxo, Paris (20e).

BONNIER, 20, rue Saint-Gilbert, Lyon (Rhône).

BOUCHAYER ET VIALLET (ETABLISSEMENTS), 105, cours Berriat, Grenoble (Isère).

BOULOGNE-SUR-SEINE (ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 87, rue du Château, Boulogne-sur-Seine (Seine).

BREGUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14e).

CONSTRUCTION ET DE LOCATION D'APPAREILS DE LEVAGE (SOCIÉTÉ DE), 78, rue Vitruve, Paris (20e).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ SAVOISIENNE DE), Aix-les-Bains (Savoie).

DELLE (ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 25, chemin de Cyprian, Villeurbanne (Rhône).

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 54, rue La Boétie, Paris (8e).

ELECTRO-INDUSTRIELLE (COMPAGNIE), 18, rue Vernier, Paris (18e).

ESCHER WYSS ET Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

ETUDES ET DE CONSTRUCTIONS MÉTALLURGIQUES (SOCIÉTÉ D'), 64, rue La Boétie, Paris (8e).

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

FOURNITURE INDUSTRIELLE ÉLECTROMÉCANIQUE (LA), représentants de Koch et Sterzel à Dresde, 12, cité Trévise, Paris (9e).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

HAZEMEYER, Saint-Quentin (Aisne).

HEWITTIC ELECTRIC Co LTD, 11, rue du Pont, Suresnes (Seine).

HOMÉCOURT (FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'), Saint-Chamond (Loire) et 12, rue de la Rochefoucauld. Paris (9e).

JACQUET frères (ANCIENS ETABLISSEMENTS), Vernon (Eure).

JAPY frères (ETABLISSEMENTS), Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e)

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

LEGENDRE frères, 37, rue Saint-Fargeau, Paris (20e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE S. W. (LE), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

MERLIN ET GÉRIN (ETABLISSEMENTS), rue du Monestier-de-Clermont, Grenoble (Isère).

MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (LA), 130, avenue Jean-Jaurès, Ivry-sur-Seine (Seine).

MINICUS (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES), 39, rue de Paris, Asnières (Seine).

MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE (SOCIÉTÉ DES). 135, rue de la Convention, Paris (15e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

PEYMEL ET GOUPILLE, 62, rue Jean-Claude-Vivant, Villeurbanne (Rhône).

RAGONOT (E.) (ETABLISSEMENTS), 15, rue de Milan, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

SOULÉ (SOCIÉTÉ ANONYME DES ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS D.), Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).

SOULIER (A.), 7, rue de la Gare, Cachan (Seine).

SWITCHGEAR AND COWANS LTD, Elsinore Road old Trafford, Manchester (Angleterre).

TÉLÉMÉCANIQUE ÉLECTRIQUE (LA), 3, boulevard National, Nanterre (Seine).

TRANSFORMATIONS ÉLECTRIQUES DE MESURE (SOCIÉTÉ ANONYME DOUAISIENNE DE) (S.A.D.T.E.M.), 4 *bis*, rue Martin-du-Nord, Douai (Nord).

USINAGE ET DE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE (SOCIÉTÉ D'), 26, rue Gambetta, Boulogne-Billancourt (Seine).

VANHERZEEKE ET FOURNIER (ETABLISSEMENTS), 12, rue Soleillet, Paris (20e).

Matériel neuf et d'occasion.

BOUILLET (P.), 156, rue de Vanves, Paris (14e).

UNIVERSEL ELECTRIC (Etablissements Ad. Roulland), 87, rue de Bagnolet, Paris (20e).

Piles électriques

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

CARBONE (LE), 37 à 41, rue de Paris, Gennevilliers (Seine).

MESURES ET COMPTAGE

Appareils de Mesure.

APPLICATIONS ÉLECTRIQUES POUR L'INDUSTRIE (SOCIÉTÉ D'), 25, avenue Ledru-Rollin, Paris (12e).

CARPENTIER (ATELIERS J.), 20, rue Delambre, Paris (14e).

CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE (COMPAGNIE DE), 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine)

DA ET DUTILH, 81, rue Saint-Maur, Paris (11e).

DÉMOLY, 43, rue de Trévise, Paris (9e).

FABRICATION D'APPAREILS DE MESURE (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE POUR LA), 5, rue Godot-de-Mauroy, Paris (9e).

FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ (COMPAGNIE POUR LA), 12, place des Etats-Unis, Montrouge (Seine).

GARNIER, 82 *bis*, chemin Feuillat et 290, cours Gambetta, Lyon (Rhône).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18e).

MARTINOT (M.), 18, rue Aumaire, Paris (3e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DE CONTRÔLE ET INDUSTRIEL, 2, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris (10e).

OUVRIERS EN INSTRUMENTS DE PRÉCISION (ASSOCIATION DES), 8 à 14, rue Charles-Fourrier, Paris (13e).

RICHARD (ETABLISSEMENTS J.), 25, rue Mélingue, Paris (19e).

TRANSFORMATIONS ÉLECTRIQUES DE MESURE (SOCIÉTÉ ANONYME DOUAISIENNE DE) (S.A.D.T.E.M.), 4 *bis*, rue Martin-du-Nord, Douai (Nord).

TAUB, TAUBER ET Cie, 36, boulevard de la Bastille, Paris (12e).

YORKE (ETABLISSEMENTS H.-WILLIAM), concessionnaires de Hartmann et Braun, 24-26, rue de Turin, Paris (8e).

ZIVY ET Cie, 29 et 31, rue de Naples, Paris (8e).

Compteurs électriques.

COMPTEURS MONOPHASÉS M. F. HI, 63, boulevard Malesherbes, Paris (8e).

CONSTRUCTION ÉLECTRIQUE (COMPAGNIE DE), 44, rue du Docteur-Lombard, Issy-les-Moulineaux (Seine).

ELECTROMÉTRIE (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 10, rue Rodier, Paris (9e).

FABRICATION DES COMPTEURS A GAZ ET AUTRES APPAREILS (COMPAGNIE CONTINENTALE POUR LA), 17, rue d'Astorg, Paris (8e).

FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ (COMPAGNIE POUR LA), 12, place des Etats-Unis, Montrouge (Seine).

GARNIER, 82 *bis*, chemin Feuillat et 290, cours Gambetta, Lyon (Rhône).

IAPY frères (ETABLISSEMENTS), Beaucourt (Haut-Rhin) et 7, rue du Château-d'Eau, Paris (10e).

LANDIS ET GYR, 12, rue Lapeyrère, Paris (18e).

VOGEL (Antoine), Pieterlen (Suisse).

MATÉRIEL POUR LIGNES DE DISTRIBUTION

Câbles et Fils électriques.

ALUMINIUM CABLÉ (L'), 63, avenue des Champs-Elysées, Paris (8e).

ALUMINIUM FRANÇAIS, 23 *bis*, rue Balzac, Paris (8e).

DIVES (SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE), 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

ELECTRO-CABLE (SOCIÉTÉ), 62, avenue d'Iéna, Paris (16e).

FIL DYNAMO (Le), 17 et 19, rue Barrême, Lyon (Rhône).

FIL ISOLÉ MODERNE (LE), Delle (Territoire de Belfort).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

GEOFFROY ET DELORE, 28, rue des Chasses, Clichy (Seine).

HAVRE (TRÉFILERIES ET LAMINOIRS DU) (La Canalisation électrique), 28, rue de Madrid, Paris (8e).

HEDDERNHEIMER KUPFERWERK UND SUEDDEUTSCHE KABELWERKE, Francfort-sur-Mein et Heddernheim; représentants: Renault et G. de Chamborand, 24, rue Caumartin, Paris (9e).

JARRIANT (J.), 233, rue de la Croix-Nivert, Paris (15e)

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75 boulevard Haussmann, Paris (8e).

LYON (COMPAGNIE GÉNÉRALE DES CABLES DE), 41, chemin du Pré-Gaudry, Lyon (Rhône).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (LE), 46-47, quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine).

OLIER (ETABLISSEMENTS A.), Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) et 10, rue Beaurepaire, Paris (10e).

TÉLÉPHONES (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

THOMSON-HOUSTON (Cie FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

Isolateurs et Isolants.

ADT (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES ETABLISSEMENTS), 45, rue Turbigo, Paris (3e).

BAKÉLITE (LA), 14, rue Roquépine, Paris (8e).

BARNIER (ETABLISSEMENTS), 95, avenue Victor-Hugo, Valence (Drôme).

BOIS BAKÉLISÉ (LE), 15, rue Claudel, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHAMBOURNIER (E.), 23, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

CHARBONNEAUX ET Cie, route de Cormontreuil, Reims (Marne).

DELLE (USINES DIÉLECTRIQUES DE), Delle (Territoire de Belfort).

DÉMOLY (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

DUCO (SOCIÉTÉ FRANÇAISE), 67, boulevard Haussmann, Paris (8e).

EBÉNOÏD (SOCIÉTÉ ANONYME L'), 7, rue des Fleurs, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 54, rue La Boétie, Paris (8e).

ELECTRO-CÉRAMIQUE (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 16, rue de la Baume (Paris (8e).

ELECTRO-VERRE (SOCIÉTÉ L'), 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

FIBRE ET MICA (SOCIÉTÉ), rue Frédéric-Fays, Villeurbanne (Rhône).

FIBROMICA (LE), Joseph Lévy, 28, rue Etienne-Dolet, Paris (20e).

GARDY (SOCIÉTÉ FRANÇAISE), 23, rue de la Voie-des-Bancs, Argenteuil (Seine-et-Oise).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 119, avenue Louis-Roche (anciennement avenue du Pont-de-Saint-Ouen), Gennevilliers (Seine).

HAEFELY (E.) ET Cie, Bâle (Suisse).

INDUSTRIE ÉLECTRIQUE ET MÉCANIQUE (COMPAGNIE POUR L'), 120, avenue des Champs-Elysées, Paris (8e).

ISOLANTITE (L'), Société anonyme, 52, boulevard Garibaldi, Paris (15e).

LAQUES ET ISOLANTS « ISOLÉMAIL » (SOCIÉTÉ DES), 67, chemin des Quatre-Maisons, Lyon (Rhône).

L. C. H. (ETABLISSEMENTS), 31, rue Joubert, Paris (9e).

LESQUIN (LA PORCELAINERIE DE), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

MARTINOT (M.), 18, rue Aumaire, Paris (3e).

MATÉRIEL ISOLANT (Le), 20, rue Arago, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

MICAFIL, Zurich Altstetten (Suisse).

PARVILLÉE frères et Cie (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 53, rue de Châteaudun, Paris (9e).

PORCELAINE HAUTE-TENSION (LA), 16, rue d'Antin, Paris (9e).

QUARTZ FONDU (SOCIÉTÉ NOUVELLE DU), 23 *bis*, rue Balzac, Paris (8e).

QUARTZ ET SILICE, 5, rue Cambacérès, Paris (8e).

TÉLÉPHONES (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

WEIDMANN (ANCIENS ETABLISSEMENTS H.), Fabrique de cartons « Presspan » et de matières isolantes pour l'Electricité, Rapperswill (Suisse).

Protection des réseaux

CORONA (LE PARAFOUDRE UNIVERSEL), 14, rue Crespin-du-Gast, Paris (11e).

Pylônes.

BOUCHAYER ET VIALLET (ETABLISSEMENTS), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère) et 124, rue La-Boétie, Paris (8e).

CONSTRUCTION SOUDÉE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE), 4, rue de la Bienfaisance, Paris (8e).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUE DE), Jeumont (Nord).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

TOUL (ATELIERS DE CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES DE), route de Paris, Toul (Meurthe-et-Moselle).

INSTALLATIONS ET ENTREPRISES ÉLECTRIQUES

APPLICATIONS NOUVELLES DU CIMENT ARMÉ (SOCIÉTÉ D'), 132, rue Lafayette, Paris (10e).

BACO (CONSTRUCTIONS ET ENTREPRISES ÉLECTRIQUES), (anciennement BAUMGARTEN), Strasbourg Arsenal (Bas-Rhin).

BÉTON ARMÉ (SOCIÉTÉ MÉLUNAISE DE), 7, rue Chaligny, Paris (12e).

COLLET Frères et Cie (LES ETABLISSEMENTS), 45, quai Gailleton, Lyon (Rhône).

CONDUITES ET POTEAUX EN CIMENT ARMÉ, 5, cours Jean-Jaurès, Grenoble (Isère).

ELECTRIFICATION (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 4, cité d'Antin, Paris (9e).

ELECTRIFICATION INDUSTRIELLE (L'), 112 *bis* et 112 *ter*, rue Cardinet (Paris (17e).

ELECTRIQUE DES BOIS ET CIMENTS (L'), 104, boulevard Berthier, Paris (17e).

ENTREPRISES (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'), 56, faubourg Saint-Honoré, Paris (8e).

ENTREPRISES ÉLECTRIQUES (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 16, rue de la Baume, Paris (8e).

EQUIPEMENT DES VOIES FERRÉES ET DES GRANDS RÉSEAUX ÉLECTRIQUES (Société D'), 16, rue de Tilsitt, Paris (17e).

EST (SOCIÉTÉ ANONYME FORCE ET LUMIÈRE ÉLECTRIQUE DE L') 7, quai Kellermann, Strasbourg (Bas-Rhin).

HAEFELI ET KAELIN, Lure (Haute-Saône).

HAVRE (TRÉFILERIES ET LAMINOIRS DU) (La Canalisation électrique), 28, rue de Madrid, Paris (8e).

MARSEILLE (SOCIÉTÉ DES GRANDS TRAVAUX DE), 25, rue de Courcelles, Paris (8e).

MONTAGES ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ DE), 39 *bis*, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

MORS (SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ), 11, rue Petit, Clichy (Seine).

POTEAUX ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES), 37, rue de Dunkerque, Paris (9e).

TENSION (ETABLISSEMENTS BASSE ET HAUTE), 120, avenue des Champs-Elysées, Paris (8e).

TRAVAUX D'ECLAIRAGE ET DE FORCE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE) (Anciens Etablissements Clémançon), 23, rue Lamartine, Paris (9e).

TRAVAUX D'EXPLOITATIONS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ ANONYME DE), 39 *bis*, rue de Marseille, Lyon (Rhône).

UNIVERSEL ELECTRIC (Etablissements Ad. Roulland), 35, rue de Bagnolet, Paris (20e).

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ALUMINIUM FRANÇAIS, 23 bis, rue Balzac, Paris (8e).

BARDON, 61, boulevard National, Clichy (Seine).

BERGNER ET Cie (ETABLISSEMENTS), 116, boulevard Diderot, Paris (12e).

CHARBONS POUR L'ELECTRICITÉ (COMPAGNIE LORRAINE DE), 12, rue d'Aguesseau, Paris (8e).

DAVID (S.), 9, rue Emilio-Castelar, Paris (12e).

ECLAIRAGE TECHNIQUE (L'), 30 *bis*, rue Claude-le-Lorrain, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ELECTRICITÉ (COMPAGNIE GÉNÉRALE D'), 54, rue La Boétie, Paris (8e).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

HOLOPHANE (SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE), 156, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LACARRIÈRE (SOCIÉTÉ), 48, rue de la Victoire, Paris (9e).

LAMPES (COMPAGNIE DES), 29, rue de Lisbonne, Paris (8e).

MAIN (G.) ET CIE, 91, avenue de Clichy, Paris (17e).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (LE), 46-47, quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine).

MÉCANO FRANÇAISE (SOCIÉTÉ), 19, rue Louis-le-Grand, Paris (2e).

MORS (SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ) 11, rue Petit, Clichy (Seine).

TRAVAUX D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE) (Anciens Etablissements Clémançon) 23, rue Lamartine, Paris (9e).

VISSEAUX (J.), 87, quai Pierre-Scize, Lyon (Rhône).

Accessoires pour l'Eclairage.

NOVITAS, DOEHNER (A.), 1, rue du Jeune-Anacharsis, Marseille (Bouches-du-Rhône).

WIT, 69, rue Bellecombe, Lyon (Rhône)

Applications électrodomestiques

AP-EL (SOCIÉTÉ), 41, rue La Fayette, Paris (9e).

LUTRA, 19, rue de Londres, Paris (9e).

PARVILLÉE frères (ANCIENS ETABLISSEENTS), 53, rue de Châteaudun, Paris (9e).

SAUTER (SOCIÉTÉ POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS), 32, rue de Mulhouse, Saint-Louis (Haut-Rhin).

ÉLECTROCHIMIE ET ELECTROMÉTALLURGIE

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

APPLICATIONS ÉLECTRIQUES POUR L'INDUSTRIE (SOCIÉTÉ D'), 25, avenue Ledru-Rollin, Paris (12e).

DIVES (SOCIÉTÉ D'ELECTROMÉTALLURGIE DE), 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

ELECTROCHIMIE (SOCIÉTÉ D'), 2, rue Blanche, Paris (9e).

LEVAGE ET MANUTENTION

Appareils de Levage et de Manutention

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ASEA (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

CONSTRUCTION ET DE LOCATION D'APPAREILS DE LEVAGE (SOCIÉTÉ DE), 78, rue Vitruve, Paris (20e).

FIVES-LILLE (COMPAGNIE DE), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 119, avenue Louis-Roche (anciennement avenue du Pont-de-Saint-Ouen), Gennevilliers (Seine).

GERVAIS (F.) (Anciens Etablissements Pontille), constructeur, 11 *bis* à 17, rue des Tournelles, Lyon (Rhône).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LA COURNEUVE (FONDERIES ET ATELIERS DE), 48, rue La Boétie, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE S. W. (LE), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

MINES

Matériel pour Mines.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 119, avenue Louis-Roche (anciennement avenue du Pont-de-Saint-Ouen), Gennevilliers (Seine).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

MATÉRIEL RADIOMÉTALLOGRAPHIQUE

RADIOLOGIE (COMPAGNIE GÉNÉRALE DE), 34, boulevard de Vaugirard, Paris (15e).

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Télégraphie

TÉLÉCOMMUNICATIONS (SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES SYSTÈMES PEREGO), 52, rue de Crimée, Paris (19e).

Télégraphie sans fil.

MINICUS (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES), 39, rue de Paris, Asnières (Seine).

RADIO-ELECTRIQUE (SOCIÉTÉ FRANÇAISE), 79, boulevard Haussmann, Paris (8e).

TÉLÉCOMMUNICATIONS (SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES SYSTÈMES PEREGO), 52, rue de Crimée, Paris (19e).

TRÉVOUX (SOCIÉTÉ DES CONDENSATEURS DE), 52, rue de Dunkerque, Paris (9e).

Téléphonie.

BREGUET (Maison), 19, rue Didot, Paris (14e).

ETUDES POUR LIAISONS TÉLÉPHONIQUES ET TÉLÉGRAPHIQUE A LONGUE DISTANCE (SOCIÉTÉ D'), 51, 53, rue de l'Amiral Mouchez, Paris (13e).

MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE (LE), 46-47, quai de Boulogne, Boulogne-Billancourt (Seine).

TÉLÉPHONES (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES), 25, rue du 4-Septembre, Paris (2e).

THOMSON-HOUSTON (COMPAGNIE DES TÉLÉPHONES), 254, rue de Vaugirard, Paris (15e).

TRACTION

Traction électrique.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

ASEA (Société française d'Electricité), Vesteras (Suède) et 2, rue de Monceau, Paris (8e).

FIVES-LILLE (COMPAGNIE DE), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

INDUSTRIE DES CHEMINS DE FER ET DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (SOCIÉTÉ PARISIENNE POUR L'), 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord) et 75, boulevard Haussmann, Paris (8e).

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE S. W. (LE), 32, cours Albert-Ier, Paris (8e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

Appareillage pour la Traction.

DÉMOLY (Ernest), 43, rue de Trévise, Paris (9e).

JEUMONT (FORGES ET ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÈLECTRIQUES DE), Jeumont (Nord).

Matériel roulant pour Chemins de fer.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

FIVES-LILLE (COMPAGNIE DE), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 119, avenue Louis-Roche (anciennement avenue du Pont-de-Saint-Ouen), Gennevilliers (Seine).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

Signaux et Enclenchements pour Chemins de fer

MORS (SOCIÉTÉ D'ELECTRICITÉ), 11, rue Petit, Clichy (Seine).

MACHINES MOTRICES

MACHINES HYDRAULIQUES

Aménagements hydrauliques et accessoires

BARRAGES AUTOMATIQUES (SOCIÉTÉ ANONYME DES), Zurich (Suisse).

BOUCHAYER ET VIALLET (Etablissements), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

CHARMILLES (ATELIERS DES), 109, route de Lyon, Genève (Suisse).

HYDRO-MÉCANIQUE (SOCIÉTÉ), 61, allée de Brienne, Toulouse (Haute-Garonne).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

Turbines hydrauliques.

CHARMILLES (ATELIERS DES), 109, route de Lyon, Genève (Suisse).

ESCHER WYSS ET Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

HYDRO-MÉCANIQUE (SOCIÉTÉ), 61, allée de Brienne, Toulouse (Haute-Garonne).

NEYRET-BEYLIER ET PICCART-PIETET (ATELIERS), Grenoble (Isère).

SCHNEIDER, JAQUET ET Cie (SOCIÉTÉ ANONYME), Strasbourg-Koenigshoffen (Bas-Rhin).

TEISSET-ROSE-BRAULT (ETABLISSEMENTS), 17, rue Bachaumont, Paris (2e) et Chartres (Eure-et-Loir).

VOITH (J.-M.), Heidenheim-sur-Brenz (Wurtemberg), bureaux, 9, rue Pillet-Will, Paris (9e).

MACHINES A GAZ, A EXPLOSION ET A COMBUSTION INTERNE

Gazogènes.

BOUCHAYER ET VIALLET (ETABLISSEMENTS), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE (SOCIÉTÉ DE), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

Moteurs.

A. E. G. (SOCIÉTÉ FRANÇAISE — POUR L'IMPORTATION ET LA VENTE EN FRANCE DU MATÉRIEL DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITATS GESELLSCHAFT A BERLIN), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

FIVES-LILLE (COMPAGNIE DE), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

FRANCE (CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE), 9, avenue d'Orsay, Paris (7e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

MOTEURS A GAZ ET D'INDUSTRIE MÉCANIQUE (SOCIÉTÉ DE), 135, rue de la Convention, Paris (15e).

RENAULT, 8, avenue Emile-Zola, Billancourt (Seine).

MACHINES A VAPEUR

Chaudières.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

BOUCHAYER ET VIALLET, 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

ESCHER WYSS ET Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

LA COURNEUVE (FONDERIES ET ATELIERS DE), 48, rue La Boétie, Paris (8e).

NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19e).

Accessoires pour chaudières.

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

APPLICATIONS ÉLECTRIQUES POUR L'INDUSTRIE (SOCIÉTÉ D'), 25, avenue Ledru-Rollin, Paris (12e).

BOUCHAYER ET VIALLET (ETABLISSEMENTS), 155, cours Berriat, Grenoble (Isère).

COCARD (SOCIÉTÉ ANONYME DES ETABLISSEMENTS JULES), 18 à 22, rue de Châtillon, Paris (14e).

COLLOMBUS (LES ECONOMISEURS), 17, avenue de l'Opéra, Paris (1er).

FOYERS AUTOMATIQUES (SOCIÉTÉ ANONYME DES), 19, rue Lord-Byron, Paris (8e).

FUMIVORITÉ ET DÉPOUSSIÉRAGE INDUSTRIEL, 16, rue de la Baume, Paris (8e).

NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19e).

ULRICI (Epurateur de vapeur), 13, rue Treilhard, Paris (8e).

WANNER (SOCIÉTÉ DES ETABLISSEMENTS), 67, avenue de la République, Paris (11e).

Tirage mécanique.

NICLAUSSE (J. ET A.), 24, rue des Ardennes, Paris (19e).

PRAT (SOCIÉTÉ DES CHEMINÉES LOUIS), 146, avenue des Champs-Elysées, Paris (8e).

STURTEVANT (COMPAGNIE), 60, rue Saint-Lazare, Paris (9e).

Machines à vapeur.

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

Turbines à vapeur.

A. E. G. (SOCIÉTÉ FRANÇAISE — POUR L'IMPORTATION ET LA VENTE EN FRANCE DU MATÉRIEL DE L'ALLGEMEINE ELEKTRICITATS GESELLSCHAFT A BERLIN), 6, rue Lamennais, Paris (8e).

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

BREGUET (MAISON), 19, rue Didot, Paris (14e).

ESCHER WYSS ET Cie, 28, place Saint-Georges, Paris (9e).

FIVES-LILLE (Cie de), 7, rue Montalivet, Paris (8e).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse), et 15, rue de Milan, Paris (9e).

RATEAU (SOCIÉTÉ), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

MATIÈRES PREMIÈRES ET OUTILLAGE

Combustible.

ECLAIRAGE, CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE (SOCIÉTÉ D'), 22, rue de Calais, Paris (9e).

GAZ DE PARIS (SOCIÉTÉ DU), 6, rue Condorcet, Paris (9e).

Construction.

DOUCE ET MOULIN (Terrazzolith), 64, rue Petit, Paris (19e).

Décolletage.

FORCE, CHEVRENAY (ETABLISSEMENTS), 38, rue des Panoyaux, Paris (20e).

RATEAU (SOCIÉTÉ), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

Engrenages.

CITROËN (ENGRENAGES), 31, quai de Grenelle, Paris (15e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 119, avenue Louis-Roche (anciennement avenue du Pont-de-Saint-Ouen), Gennevilliers (Seine).

Epurateurs d'huile

ALFA LAVAL (SOCIÉTÉ), 10, rue Charles-V, Paris (4e).

CAZAGNE (ETABLISSEMENTS EMILE), 6, boulevard Richard-Lenoir, Paris (11e).

HERING, Nuremberg (Allemagne); agent général BENOIST (M.), 26, rue Adam-Ledoux, Courbevoie (Seine).

SHARPLES (SOCIÉTÉ ANONYME DES APPAREILS CENTRIFUGES), 70, rue du Vieux-Pont, Rueil (Seine-et-Oise).

Ferrures.

JACQUEMARD (Jean), La Ricamarie (Loire).

USINES DU PAQUIS (SOCIÉTÉ ANONYME DES), Cons-la-Grandville (Ardennes).

Fours industriels.
Matériel pour Forges et Fonderies.

MÉKER (G.) ET Cie, 105, boulevard de Verdun, Courbevoie (Seine).

Huiles pour Machines et Appareils électriques.

ISOLATOR, 64, rue La Boétie, Paris (8e).

MAILLERAYE (SOCIÉTÉ DE LA), 77, rue de Miromesnil, Paris (8e).

MERCIER ET Cie, 14, rue de Liége, Paris (9e).

VACUUM OIL Co, 34, rue du Louvre, Paris (2e).

Machines-outils, Outillage.

BAZIN (Pierre), 98, rue de l'Assomption, Paris (16e).

DEBRON, 91, rue du Centre, La Garenne-Colombes (Seine).

ELECTRO-SOL, 3, rue de Buenos-Ayres, Paris (3e).

FROITZHEIM UND RUDERT, 126-131, Langhansstrasse, Berlin-Weissensee (Allemagne). Représentant M. Benoist, 26, rue Adam-Ledoux, Courbevoie (Seine).

GAMBIN ET Cie, 128, rue du Point-du-Jour, Billancourt (Seine).

GOEMINNE (ETABLISSEMENTS O.), 47 *bis*, boulevard Félix-Faure, Saint-Denis (Seine).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

MANUFACTURE DE MACHINES AUXILIAIRES POUR L'ELECTRICITÉ ET L'INDUSTRIE, 21, boulevard de Courbevoie, Neuilly-sur-Seine (Seine).

MESSINESI, 187, rue de Courcelles, Paris (17e).

MICAFIL, Zurich Altstetten (Suisse).

RAWL (CHEVILLE), 35, rue Boissy-d'Anglas, Paris (8e).

Métallurgie

ALUMINIUM FRANÇAIS, 23 *bis*, rue Balzac, Paris (8e).

GENNEVILLIERS (ACIÉRIES DE) (Anciens Etablissements Delachaux), 119, avenue Louis-Roche (anciennement avenue du Pont-de-Saint-Ouen), Gennevilliers (Seine).

HOMÉCOURT (FORGES ET ACIÉRIES DE LA MARINE ET D'), 12, rue de la Rochefoucauld, Paris (9e).

MÉTALLURGIQUE ÉLECTRIQUE (LA), 130, avenue Jean-Jaurès, Ivry-sur-Seine (Seine).

Métaux électrolytiques.

DIVES (SOCIÉTÉ D'ELECTRO-MÉTALLURGIE DE), 11 *bis*, rue Roquépine, Paris (8e).

Poteaux en bois. Moulure

BOULANGER, 32, rue Sacrot, Saint-Mandé (Seine).

SPYCHIGER (Auguste), Nidau-Bienne (Suisse).

Produits chimiques.

ELECTRO-CHIMIE (SOCIÉTÉ D'), 2, rue Blanche, Paris (9e).

Roulements à billes.

APPLICATIONS MÉCANIQUES (COMPAGNIE D'), 15, avenue de la Grande-Armée, Paris (16e).

TIMKEN (SOCIÉTÉ ANONYME FRANÇAISE), 5 et 7, quai Aulagnier, Asnières (Seine).

Refroidisseurs, Ventilateurs et Machines soufflantes

ALS-THOM (SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES), 173, boulevard Haussmann, Paris (8e).

COMBEMALE, 12, rue Curton, Clichy (Seine).

CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES, 22, quai de la Bataille, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GRAMME (SOCIÉTÉ), 200, rue de Paris, Pantin (Seine).

LA CHALÉASSIÈRE (SOCIÉTÉ NOUVELLE DES USINES DE), 5, avenue du Coq, Paris (9e).

PLANCHE ET Cie (ETABLISSEMENTS R.), 3 et 5, route de Frans, Villefranche-sur-Saône, (Rhône).

OERLIKON (SOCIÉTÉ), à Oerlikon (Suisse) et 15, rue de Milan, Paris (9e).

RATEAU (SOCIÉTÉ), 40, rue du Colisée, Paris (8e).

SAUTTER-HARLÉ (ANCIENS ETABLISSEMENTS), 26, avenue de Suffren, Paris (15e).

DIVERS

Assurances.

PIEL (F.), gendre et LIÈVRE (J.-A.), 27, rue de Châteaudun, Paris (9e).

Bureaux d'études.

BŒTTCHER fils, 89, boulevard Saint-Martin, Paris (10e).

INGÉNIEURS-CONSEILS (ASSOCIATION FRANÇAISE DES), 19, rue Blanche, Paris (9e).

PERFECTA (LES MAQUETTES INDUSTRIELLES), 55, rue de la Procession, Paris (15e).

TRADUCTIONS ET DE RECHERCHES DOCUMENTAIRES (BUREAU DE), 2, square Desnouettes, Paris (15e).

Fournitures pour bureaux

OZALID (SOCIÉTÉ LA CELLOPHANE), route des Carrières, Bezons (Seine-et-Oise).

REMINGTON TYPEWRITER Co, 12, rue Edouard-VII, Paris (9e).

Renseignements commerciaux

DÉVELOPPEMENT DE LA VENTE A CRÉDIT (SOCIÉTÉ POUR LE), 12, rue Newton, Paris (16e).

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 1. — 5 JUILLET 1930.

Chronique. — Réorganisation de la Commission permanente de Standardisation, p. 1. — Visite de la Presse technique aux chantiers des aménagements hydroélectriques de Kembs, p. 1.

Section scientifique et technique. — Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchones, par Ch. GALMICHE, p. 3. — Diagramme de fonctionnement d'un transformateur autorégulateur à enroulement mobile, par V. GENKIN, p. 13. — Revues, analyses et informations : Le fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique, p. 16; Propriétés des diélectriques, p. 17; Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement, p. 18.

Section industrielle. — Le guidage par câble et le guidage sans câble des navires et des avions, par C. BOURGONNIER, p. 19. — Revues, analyses et informations : Echauffement et intensités de courant admissibles dans les conducteurs nus installés à l'extérieur, p. 32.

Section économique et financière. — Assemblées générales : L'Energie industrielle, p. 33; Compagnie centrale d'Energie électrique, p. 35.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Décret instituant un Comité supérieur de Normalisation, p. 37; Arrêt de la Cour de Cassation déclarant non passibles de l'impôt les sommes reçues par les porteurs de parts de fondateurs pour le rachat de ces parts, p. 39; Sur la déduction des bénéfices industriels de la valeur locative des immeubles appartenant à l'industriel, p. 39; Sur les délais dans lesquels doit être acquittée la taxe sur le chiffre d'affaires, p. 39; Sur la non-imposition comme revenus des dommages et intérêts alloués à un inventeur pour contrefaçon, p. 40; Sur les formalités à remplir pour recevoir en franchise les marchandises exportées puis retournées à l'expéditeur, p. 40; Sur les frais incombant aux propriétaires d'embranchements industriels lors de l'électrification de la ligne principale de chemin de fer, p. 40.

Réorganisation de la Commission permanente de Standardisation. — On trouvera dans ce numéro, pages 37 à 39, le texte du décret du 24 avril 1930 réorganisant la Commission permanente de Standardisation, qui s'appellera désormais Comité supérieur de Normalisation; d'autre part nous avons publié dans notre numéro du 21 juin 1930, page 1008, l'arrêté du 19 mai 1930 nommant ses membres pour cinq années.

Rappelons que la Commission permanente de Standardisation, créée par un décret en date du 10 juin 1918 (1), apporta tout d'abord une importante contribution à la normalisation en établissant 87 projets de normes dont 54 furent définitivement adoptés après enquête publique, mais qu'elle dut à partir de 1924 interrompre ses travaux faute de disposer de crédits suffisants pour les réaliser. Les bureaux de normalisation institués par les grands groupements industriels n'en continuèrent pas moins à élaborer des normes; comme le fait observer le rapport qui est joint au décret du 24 avril 1930, il en résultait un grave inconvénient : ces divers organismes travaillant sans idées directrices et sans liens d'ensemble pouvaient se trouver amenés à élaborer des normes incompatibles entre elles. Une instruction du ministre du Commerce et de l'Industrie en date du 26 novembre 1928 (2) remédia en partie à cet inconvénient en fixant les attributions respectives de ces bureaux de normalisation, de l'Association française de Normalisation et de la Commission permanente de Standardisation. En réorganisant cette dernière, le décret du 24 avril 1930 et l'arrêté du 19 mai 1930 viennent apporter une nouvelle contribution à la réglementation des travaux de normalisation.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 20 juillet 1918, t. IV, p. 65-66.
(2) *Idem*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 959-960.

Visite de la Presse technique aux chantiers des aménagements hydroélectriques de Kembs. — La Société Energie électrique du Rhin avait convié, pour le 20 juin 1930, les représentants de la Presse technique à une visite de ses chantiers des aménagements de l'usine hydroélectrique de Kembs, sur le Rhin, dont le projet a été exposé antérieurement dans ces colonnes (1).

Au nombre d'une vingtaine, les invités, parmi lesquels se trouvaient des représentants de la Presse technique française et de la Presse technique suisse, partirent de Mulhouse en autocar vers 9 heures du matin, pour être conduits à l'hôtel de la cité de Schaeferhof, cité construite pour le personnel d'exploitation de l'usine et aménagée avec un remarquable souci de confort. Reçus par M. Canonge, adjoint au directeur général de la société, M. Clément, les invités entendirent avec intérêt une conférence illustrée de nombreuses projections au cours

(1) F. PIOT; L'importance et l'utilisation de l'énergie du Rhin : les usines hydroélectriques de Kembs et du Grand Canal d'Alsace. *Revue générale de l'Electricité*, 10 septembre 1927, t. XXII, p. 381-394.

de laquelle M. Canonge retraça les diverses phases des travaux depuis l'origine.

Conduits ensuite sur les lieux des travaux, les visiteurs parcoururent à pied la plus grande partie des chantiers qui s'étendent sur une longueur d'environ 6 km et présentent un caractère extrêmement imposant, les travaux exécutés l'emportant par leur ampleur sur ce qui a été réalisé jusqu'ici en Europe.

Après un déjeuner servi à l'hôtel de Schaeferhof, et présidé par M. R. Kœchlin, les invités se rendirent au barrage dont la visite des chantiers, tant sur la rive française que sur la rive allemande, occupa la plus grande partie de l'après-midi et se termina à 18 heures. Les visiteurs furent alors reconduits soit à Mulhouse, soit à Bâle, par les soins de la Société Energie électrique du Rhin.

Nous sommes certains d'interpréter le sentiment de tous les représentants de la Presse technique française qui ont pu répondre à l'invitation de la Société Energie électrique du Rhin en adressant ici nos remerciements à M. Kœchlin de l'accueil qu'il sut nous réserver et à M. Canonge qui, au cours de la visite, s'est dépensé en explications aussi complètes qu'intéressantes sur toutes les particularités de l'œuvre que réalise la Société Energie électrique du Rhin.

La première partie de cette œuvre est représentée par les aménagements de l'usine de Kembs qui constituent le premier tronçon du Grand Canal d'Alsace et se composent essentiellement d'un barrage et d'une prise d'eau, établis sur le Rhin, d'un canal d'arrivée, d'une usine-barrage, des écluses, d'un canal de fuite et d'un canal de drainage.

Le barrage mobile et la prise d'eau sont établis à 5 km de la frontière suisse. Le barrage est divisé en cinq ouvertures de 30 m de longueur au moyen de piles. Chacune de ces ouvertures est fermée au moyen de deux vannes Stoney superposées qui assurent une retenue de 11,50 mètres au-dessus du seuil fixe.

Cet ouvrage est exécuté pour le compte et aux frais de l'Etat français, par la Société Energie électrique du Rhin, qui en a confié les travaux à deux entreprises allemandes; l'achèvement en est prévu pour le début de l'année 1933.

Le canal d'amenée présente une largeur de 80 m au fond et de 150 m à la surface du plan d'eau maximum avec une profondeur d'eau de 15 m; d'une longueur d'environ 5 km, ce canal se divise en deux parties, à environ 4 km de la prise: une partie constitue le canal d'amenée d'eau à l'usine, l'autre est le canal de navigation ou Grand Canal d'Alsace. Les travaux de terrassement du canal d'amenée sont en voie de terminaison et le bétonnage des talus est commencé en certains points.

L'usine-barrage, qui doit absorber un débit maximum de 850 m³ : s, comportera 6 groupes générateurs à axe vertical d'une puissance unitaire de 31 000 kv-a avec turbines à hélice, système Kaplan. Les fondations de ces machines sont en cours d'exécution et on prévoit la mise en route de cette installation pour la fin de l'année 1932.

L'énergie sera fournie par les alternateurs à la tension de 8 000 v. Cette tension sera élevée à 220 000 v dans un poste de transformation extérieur établi à proximité de l'usine.

Les écluses, situées sur le canal de navigation, immédiatement après la séparation en deux bras du canal d'amenée, ont respectivement 185 et 100 m de longueur et une largeur de 25 m. Elles permettront le passage des chalands en une seule éclusée entre le bief d'amont et le bief d'aval. Les fouilles sont achevées et le travail de bétonnage, exécuté à l'aide de deux tours roulantes, de 60 m de hauteur, est en cours d'éxécution.

Le canal de fuite, qui restitue au fleuve l'eau utilisée par l'usine de Kembs, débouchera dans le Rhin à environ 7 km en aval de la prise d'eau. Ce débouché sera d'ailleurs supprimé quand on établira la deuxième usine projetée en aval de Kembs, le canal de fuite devant constituer le canal d'amenée de cette dernière usine.

Le canal de drainage est établi le long du canal d'amenée et débouche dans le canal de fuite à l'aval de l'usine; il est destiné à recueillir les eaux d'infiltration.

Du point de vue de l'aménagement des chantiers, il est opportun d'indiquer tout d'abord, pour donner une idée de l'ampleur des travaux, que les terrassements représentent 7 millions de mètres cubes de déblais en terrain meuble et que les travaux de maçonnerie requièrent la mise en œuvre de 450 000 m³ de béton, dont plus de 110 000 m³ correspondent aux travaux déjà exécutés. A cet effet, une installation de concassage, de criblage et de lavage a été aménagée pour traiter les déblais provenant des fouilles avec une production en 10 h de 1 440 m³ de matériaux correspondant à la mise en œuvre de 1 200 m³ de béton.

La longueur des voies ferrées des chantiers dépasse 70 km avec plus de 26 locomotives non compris les voies à écartement de 0,60 m.

L'effectif des ouvriers occupés aux travaux atteint 2 400 environ.

L'énergie nécessaire aux besoins du chantier est fournie par une double ligne à 40 000 v du réseau des Forces motrices du Haut-Rhin. Cette énergie est transformée dans un poste à la tension de 6 000 v pour l'alimentation des grands engins et à 380 v et 220 v, respectivement pour l'alimentation des moteurs et des circuits d'éclairage. La puissance mise en jeu dans ce poste est de 6 250 kv-a.

Parmi les engins les plus remarquables faisant partie de l'outillage du chantier, il convient de citer : deux « draglines » en service dans le canal d'amenée, pour l'exécution des déblais. Ces appareils, construits par la Bucyrus Erie Company, comportent une pelle de 4 m³ et une flèche de 42 m analogue à celle d'une grue ordinaire. Chacun de ces engins porté par 4 trains de roulement à chenilles, pèse 350 t et contient dans l'intérieur de la cabine une puissance installée de 235 kw avec un groupe Ward-Leonard alimentant les divers moteurs en courant continu, l'énergie électrique étant fournie à la cabine par un câble à 6 000 v.

Le rendement de cet appareil peut atteindre 200 m³ à l'heure.

Un autre engin intéressant est un grand excavateur à godets pour l'exécution des fouilles de l'usine et du canal de fuite. Construit par la Lübecker Maschinenbaugesellschaft cet appareil, qui pèse plus de 350 t, est équipé avec des godets de 750 l et il peut enlever jusqu'à 400 m³ à l'heure de gravier. La puissance installée dans cet appareil est de 365 kw; l'alimentation s'effectue à la tension de 6 000 v.

Le cadre forcément restreint de cette note ne nous permet pas de signaler toutes les particularités intéressantes des chantiers de Kembs, toutefois nous indiquerons encore en terminant la présence d'un engin peu connu, en service à Kembs; il s'agit d'un appareil appelé « ripeuse » qui opère le déplacement transversal des voies de roulement de l'excavateur et des wagons chargés par cet engin, déplacement motivé par la progression de la fouille creusée. On arrive ainsi à transporter parallèlement à eux-mêmes sept rails en quelques minutes, travail qui exécuté par des hommes aurait nécessité la présence d'une équipe d'une centaine d'ouvriers et un temps considérable. — L. V.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones

L'auteur traite, dans l'article qui suit, la question de la marche en parallèle des machines synchrones en se plaçant au point de vue du technicien qui réalise une installation. Le problème est d'abord considéré comme une application des méthodes les plus générales de la mécanique analytique. Les équations fondamentales étant posées, l'auteur montre le parti que l'on peut en tirer dans l'étude des problèmes en question et consacre une grande partie de son exposé à l'établissement de méthodes pratiques de calcul; il traite, comme application, des conditions de stabilité et de celles pour lesquelles les couples d'amortissement peuvent être négligés. Dans le cadre de cette étude rentrent d'autres questions, telles que celle des oscillations entretenues sans le secours d'une source d'énergie possédant par elle-même la fréquence des oscillations considérées et celle des oscillations dont l'amplitude se trouve limitée par la variation même qui en résulte dans la valeur des constantes du circuit. Sans développer ces questions au cours de cet article, pour ne pas étendre davantage cette première étude, l'auteur y fait allusion dans une note annexe.

I. **Introduction**. — L'étude qui va suivre a été entreprise du point de vue de l'ingénieur appelé dans un bureau de projets à examiner le fonctionnement d'une installation comprenant un certain nombre de machines synchrones, alternateurs ou moteurs. On sait que le problème de la marche en parallèle de deux alternateurs, ou celui du fonctionnement d'un alternateur branché sur un réseau « infini », a fait l'objet de travaux extrêmement remarquables dus principalement à M. Boucherot et à M. Blondel. Pour ne citer que les plus récents, M. Boucherot a étudié en 1913 les phénomènes dus à l'induction mutuelle entre induit, inducteurs et amortisseurs, et mis en évidence l'influence des variations de l'amplitude des forces électromotrices sur la valeur du couple synchronisant et du couple d'amortissement (1). Il y a quelques années, et tout récemment encore, dans des études approfondies (2), M. Blondel a montré tout le progrès que l'application de sa méthode des deux réactions permet de réaliser dans l'analyse des phénomènes et dans l'exactitude de leur détermination par le calcul.

C'est cette méthode qui sera exclusivement employée dans la troisième partie de cet article. La première est l'exposé du problème et sa mise en équations, sans faire intervenir la manière dont il convient de calculer les couples synchronisants et les facteurs qui traduisent l'action mutuelle exercée par les diverses machines les unes sur les autres. On aboutit à la conclusion que le mouvement du système est la résultante de $n - 1$ oscillations principales ou « normales », comme dans le cas d'un système mécanique doué de $n - 1$ degrés de liberté. J'ai réservé pour une deuxième partie l'examen de la stabilité et des conditions dans lesquelles les couples d'amortissement peuvent être négligés pour le calcul des périodes principales; en s'appuyant sur l'analogie signalée ci-dessus, il est facile, après quelques transformations algébriques simples, de faire l'application au cas actuel des théories générales de la mécanique analytique.

La troisième partie est consacrée au développement de méthodes exactes et d'un caractère pratique, employées pour le calcul des divers facteurs, couples et coefficients d'action mutuelle, qui interviennent dans les équations différentielles; elles conduisent aux expressions des écarts angulaires, des courants et de la tension aux barres collectrices. La méthode des deux réactions constitue pour ces calculs un merveilleux outil.

Dans la première partie, on s'est contenté, afin de conserver à l'exposition la plus grande simplicité possible, de procéder au calcul des coefficients qui traduisent l'action mutuelle des alternateurs, en supposant que les chutes de tension dans les machines peuvent s'exprimer à l'aide d'une simple impédance vectorielle constante, c'est-à-dire, en admettant la notion de réactance synchrone pour les alternateurs, ainsi que cela se faisait généralement dans les études théoriques, il y a peu d'années encore. Cette manière de procéder est d'ailleurs insuffisante pour aboutir à des résultats numériques corrects, mais elle permet

(1) P. Boucherot; Amortissement et amortisseurs des alternateurs. *La Lumière électrique*, 8, 15 et 22 novembre 1913, t. XXIV (2e série), p. 166-175, 199-208 et 230-237.

(2) A. Blondel. *Revue générale de l'Electricité*, 12 et 19 août 1922, t. XII, p. 203-212 et 235-244, 17 et 24 février, 3, 10 et 31 mars 1923, t. XIII, p. 235-251, 275-282, 331-343, 387-396 et 515-531, 7, 14, 21 et 28 juin 1930, t. XXVII, p. 885-895, 935-944, 968-976 et 1011-1023. — *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 24 février et 12 mai 1930, t. CXC, p. 460-464 et 1093-1096.

d'établir avec clarté que la somme de ces coefficients est identiquement égale à l'unité, propriété fondamentale qui sera, au surplus, vérifiée par l'application de la méthode des deux réactions, comme on le verra dans la troisième partie.

Pour terminer et à titre d'application des méthodes indiquées, je donne, dans le cas de deux et de trois alternateurs, l'expression des périodes de résonance à partir des périodes propres de ces machines considérées séparément et j'effectue les calculs numériques pour trois alternateurs de caractéristiques données.

Enfin quelques notes ont été ajoutées en annexe à cet article pour éviter d'en surcharger le texte; l'une d'elles établit que les $n-1$ périodes d'oscillations « normales » séparent les n périodes d'oscillations obtenues en considérant chaque machine isolément; et la dernière est consacrée à quelques développements relatifs à la seconde partie, qui précisent de quelle manière les équations du mouvement pendulaire, exprimées à l'aide des coordonnées normales, se trouvent modifiées par la présence des termes d'amortissement, et dans quel cas il est légitime de négliger ceux-ci pour le calcul des périodes de résonance.

II. **Principales notations utilisées.** — Ces notations sont :

$J_1, J_2 \ldots J_n$, moments d'inertie des alternateurs A_1, A_2, $\ldots$ A_n;

$p_1, p_2 \ldots p_n$, nombre de paires de pôles ;

$p\theta = p\theta_0 + p\theta'$, angle en radians que fait le vecteur de force électromotrice d'un alternateur avec un vecteur de référence tournant à la vitesse uniforme ω, numériquement égale à la pulsation moyenne du réseau évaluée sur un cycle complet des impulsions motrices ;

$p\theta_0$, valeur de l'angle précédent dans un fonctionnement sans oscillations ; l'indice a été supprimé dans quelques paragraphes où il n'en peut résulter aucune ambiguité:

$p\theta'$, écart angulaire électrique ; l'accent a été supprimé dans quelques paragraphes où il n'en peut résulter aucune ambiguité ;

$p_k\theta_k$, $p_k\theta^\circ_k$, $p_k\theta'_k$, mêmes significations, mais en précisant que ces symboles se rapportent à la machine synchrone A_k;

γ, angle de phase de la tension U aux barres collectrices par rapport au vecteur de référence tournant à la vitesse uniforme ω ;

E_n ou E_k, force électromotrice nominale de l'alternateur A_k ;

U, tension aux barres collectrices ;

$\overline{Z}_k$, impédance vectorielle de l'alternateur A_k ;

$\overline{Z}$, impédance vectorielle équivalente du réseau ;

α_k, argument de l'impédance vectorielle $\overline{Z}_k$;

φ, angle de phase du courant débité sur le réseau par rapport à la tension aux barres collectrices ;

$a_1, a_2, \ldots a_n$, coefficients exprimant l'influence des divers alternateurs sur l'écart angulaire de chacun d'eux.

Les notations relatives à la deuxième partie sont :

ψ, ψ_0, ψ', représentant respectivement $p\theta - \gamma$, $p\theta_0 - \gamma_0$, $p\theta' - \gamma'$; (on notera que γ_0 est identiquement nul);

$a_{11}, a_{22}, a_{12}, a_{13}, \ldots a_{nn}$, coefficients de la forme quadratique représentant l'énergie cinétique T ;

$b_{11}, b_{22}, b_{12}, b_{13}, b_{nn}$, coefficients de la forme quadratique qui représente l'énergie potentielle V.

Les notations relatives à la troisième partie sont :

x_s, coefficient de réactance directe ;

x_e, désignation du même coefficient, lorsqu'on tient compte de l'affaiblissement de x_s produit par l'induction mutuelle ;

x'_s, coefficient de réactance transversale ;

δ, angle de phase du courant avec la force électromotrice de l'alternateur.

III. **Mise en équations.** — A. **Généralités.** — 1. Exposé du problème. — Nous considérons n machines synchrones connectées aux barres collectrices d'une usine génératrice ou d'un poste de distribution, où elles maintiennent une tension moyenne U. Il est évident d'abord que, si l'une de ces machines possède une puissance considérable en regard de l'ensemble des autres, il n'existe pas entre celles-ci de réactions mutuelles ; le problème se réduit, par conséquent, à étudier les oscillations de chacune d'elles par rapport à la machine de grande puissance. Revenons au cas général : en l'absence d'oscillations, la tension U pourrait être représentée par un vecteur $Ue^{j\omega t}$ tournant à une vitesse uniforme ω égale à la pulsation moyenne $2\pi f$ de la tension. Dans le mouvement oscillatoire, l'expression de la tension sera, par suite, $Ue^{(j\omega t+\gamma)}$, en désignant par γ son angle de phase par rapport à ce vecteur pris pour axe de référence. Je désignerai, d'autre part, par θ_k l'angle géométrique que font entre elles les parties homologues des volants de l'alternateur réel A_k et d'un alternateur fictif qui tournerait à vide et à la vitesse rigoureusement constante $\frac{\omega}{p_k}$, expression dans laquelle p_k représente le nombre de paires de pôles de l'alternateur considéré. L'angle γ et les θ_k sont des fonctions du temps.

La différence de phase entre la force électromotrice de l'alternateur et la tension commune aux barres collectrices a pour valeur à chaque instant l'angle électrique $p_k\theta_k - \gamma$, et le couple électromagnétique dans l'alternateur est, comme on le sait, une fonction $G(p_k\theta_k - \gamma)$ de cette différence de phase. Il s'exerce, d'autre part, lors des variations de vitesse, un couple d'amortissement dû aux courants induits dans les pièces massives et dans les amortisseurs, couple sensiblement proportionnel à la dérivée de l'angle $p_k\theta_k - \gamma$; de sorte que l'équation du mouvement de la machine synchrone A_k s'écrit

$$J_k\frac{d^2\theta_k}{dt^2} + C_a\left(p_k\frac{d\theta_k}{dt} - \frac{d\gamma}{dt}\right) + G(p_k\theta_k - \gamma) = F(t) \quad (1)$$

J_k désignant le moment d'inertie, C_a, le coefficient d'amortissement, et F (t) étant, selon le cas, l'expression analytique du couple de la machine motrice qui entraîne l'alternateur ou celle du couple résistant de l'engin mécanique commandé si la machine synchrone est un moteur. Pour simplifier le langage, on supposera désormais qu'il s'agit d'un alternateur.

Le couple F (t) comprend un couple constant C_0 correspondant à la puissance moyenne de la machine motrice (moteur à gaz, par exemple), et une partie variable f (t) qui, exprimée en termes d'une série de Fourier pourra s'écrire

$$f(t) = H_1 \sin(\Omega t - \chi_1) + H_2 \sin(2\Omega t - \chi_2) + \dots)$$

avec $\Omega = \frac{2\pi}{\tau}$ en désignant par τ la durée d'un cycle de la machine motrice.

Posons maintenant

$$\theta_k = \theta^0_k + \theta'_k, \qquad \gamma = \gamma_0 + \gamma'$$

en désignant par θ^0_k la valeur de θ_k correspondant au couple qui s'exerce dans l'alternateur, sous sa charge actuelle en l'absence d'oscillations, et par γ_0 la valeur de γ dans le fonctionnement sans oscillations : il résulte d'ailleurs de la définition même de l'angle γ que γ_0 est nul.

Le couple $G(p_k\theta_k - \gamma)$ de l'alternateur peut s'écrire, par conséquent, si l'on se borne à considérer de faibles écarts angulaires,

$$G(p_k\theta_k - \gamma) = G(p_k\theta^0_k + p_k\theta'_k - \gamma')$$
$$= G(p_k\theta^0_k) + \frac{\partial G}{\partial p_k\theta_k}(p_k\theta_k{}^0) \times (p_k\theta'_k - \gamma')$$
$$+ \text{ des termes négligeables ;}$$

θ'_k est l'écart angulaire mécanique, $p_k\theta'_k$ es l'écart angulaire électrique, et le coefficient

$$\frac{\partial G}{\partial p_k\theta_k}(p_k\theta_k{}^0)$$

est le couple synchronisant C_s. Dans la troisième partie, on trouvera le calcul des coefficients C_a et C_s.

Partant de l'équation (1), on peut donc écrire

$$J\frac{d^2\theta'_k}{dt^2} + C_a\left(p_k\frac{d\theta'_k}{dt} - \frac{d\gamma'}{dt}\right) + C_s(p_k\theta'_k - \gamma') = f(t) \quad (2)$$

ou plus explicitement

$$\left.\begin{aligned} J_1\frac{d^2\theta'_1}{dt^2} + C_{a1}\left(p_1\frac{d\theta'_1}{dt} - \frac{d\gamma'}{dt}\right) + C_{s1}(p_1\theta'_1 - \gamma') = f_1(t) \\ J_2\frac{d^2\theta'_2}{dt^2} + C_{a2}\left(p_2\frac{d\theta'_2}{dt} - \frac{d\gamma'}{dt}\right) + C_{s2}(p_2\theta'_2 - \gamma') = f_2(t) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

soit n équations différentielles, avec n variables θ' et la variable γ' dont nous allons chercher l'expression en fonction des écarts angulaires θ'.

2. Expression de l'angle γ. — On obtient une équation supplémentaire en écrivant la relation qui exprime que la somme des courants fournis par les alternateurs est égale au courant débité sous la tension U par les barres collectrices sur le réseau d'utilisation d'impédance

$$\overline{Z} = Z(\cos\varphi + j\sin\varphi).$$

Cette condition s'écrit

$$\sum \frac{E_k e^{jp_k\theta_k} - Ue^{j\gamma}}{\overline{Z_k}} = \frac{Ue^{j\gamma}}{\overline{Z}}$$

en désignant par E_k la force électromotrice interne et par $\overline{Z}_k$ l'impédance vectorielle de l'alternateur A_k, y compris l'impédance des connexions aux barres collectrices et l'impédance équivalente des transformateurs associés éventuellement aux machines synchrones. L'impédance $\overline{Z}_k$ est de la forme $r_k + jx_k$ en désignant par x_k la « réactance synchrone ».

Posons, pour la commodité de l'écriture

$$\overline{Z_k} = Z_k(\cos\alpha_k + j\sin\alpha_k;$$

l'expression ci-dessus devient

$$\sum \frac{E_k e^{j(p_k\theta_k - \alpha_k)} - Ue^{j(\gamma - \alpha_k)}}{Z_k} = \frac{Ue^{j(\gamma - \varphi)}}{Z}$$

ou

$$\sum \frac{E_k e^{j(p_k\theta_k - \alpha_k)}}{Z_k}$$
$$= U\left[\frac{e^{j(\gamma-\varphi)}}{Z} + \frac{e^{j(\gamma-\alpha_1)}}{Z_1} + \dots + \frac{e^{j(\gamma-\alpha_k)}}{Z_k} + \dots\right] \quad (4)$$

En écrivant l'égalité des termes réels et des termes imaginaires des deux membres, il vient

$$\left.\begin{aligned} \sum \frac{E_k}{Z_k}\cos(p_k\theta_k - \alpha_k) \\ = U\left[\frac{\cos(\gamma-\varphi)}{Z} + \dots + \frac{\cos(\gamma-\alpha_k)}{Z_k} + \dots\right] \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

$$\left.\begin{aligned} \sum \frac{E_k}{Z_k}\sin(p_k\theta_k - \alpha_k) \\ = U\left[\frac{\sin(\gamma-\varphi)}{Z} + \dots + \frac{\sin(\gamma-\alpha_k)}{Z_k} + \dots\right] \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Posons comme précédemment

$$C_k = \theta_k{}^0 + \theta', \qquad \gamma = \gamma_0 + \gamma';$$

Divisons (5) et (6) membre à membre (ce qui élimine

la tension U) et différentions le quotient en remarquant que, si l'on se borne aux valeurs petites des variations θ'_k et γ' des angles θ_k et γ, les différentielles $d\theta_k$ et $d\gamma$ peuvent être remplacées par θ'_k et γ'. On obtient ainsi une relation qui fournit l'expression de γ' en fonction linéaire des écarts angulaires $p_1\theta'_1$, $p_2\theta'_2$, ... $p_n\theta'_n$. Malheureusement cette expression est d'une écriture si encombrante qu'il paraît préférable de recourir à une formule plus simple, qu'il est facile d'obtenir de la façon suivante :

Différentions l'équation (4) et séparons ensuite les termes réels et les termes imaginaires : on a deux équations en γ', U et dU. Eliminant alors la différentielle dU, il vient pour γ' l'expression

$$\gamma' = \frac{1}{U}\frac{\left(\frac{\cos\varphi}{Z}+\sum\frac{\cos\alpha_m}{Z_m}\right)\sum\frac{E_k}{Z_k}\cos(p_k\theta_k^0-\alpha_k)p_k\theta'_k}{\left(\frac{\cos\varphi}{Z}+\sum\frac{\cos\alpha_m}{Z}\right)^2+\left(\frac{\sin\varphi}{Z}+\sum\frac{\sin\alpha_m}{Z_m}\right)^2}$$

$$-\frac{1}{U}\frac{\left(\frac{\sin\varphi}{Z}+\sum\frac{\sin\alpha_m}{Z_m}\right)\sum\frac{E_k}{Z_k}\sin(p_k\theta_k^0-\alpha_k)p_k\theta'_k}{\left(\frac{\cos\varphi}{Z}+\sum\frac{\cos\alpha_m}{Z_m}\right)^2+\left(\frac{\sin\varphi}{Z}+\sum\frac{\sin\alpha_m}{Z_m}\right)^2}. \quad (7)$$

Dans cette expression, chaque terme tel que

$$\frac{E_k}{Z_k}\cos(p_k\theta^0{}_k-\alpha_k)p_k\theta'_k$$

est multiplié par le coefficient $\frac{\cos\varphi}{Z}+\sum\frac{\cos\alpha_m}{Z_m}$, c'est-à-dire par

$$\frac{\cos\varphi}{Z}+\frac{\cos\alpha_1}{Z_1}+\frac{\cos\alpha_2}{Z_2}+\ldots+\frac{\cos\alpha_n}{Z_n}.$$

Cette équation (7) contient la tension U aux bornes collectrices qui n'est pas une constante ; mais on peut remarquer que, les variations relatives de U rencontrées dans le cas réel d'un fonctionnement acceptable n'étant que de l'ordre de quelques centièmes, il est légitime d'attribuer à U dans cette expression une valeur constante égale à sa valeur moyenne, sans que cette approximation puisse entraîner pour la valeur de γ' des erreurs appréciables.

L'angle γ' s'exprime donc, par l'équation (7), en fonction linéaire et homogène des écarts angulaires $p_k\theta'_k$; nous l'écrirons

$$\gamma' = a_1p_1\theta'_1 + a_2p_2\theta'_2 + \ldots + a_np_n\theta'_n. \quad (8)$$

Un calcul analogue, procédant à l'aide de dérivations par rapport au temps au lieu de différentiations, fournit ensuite pour la dérivée $\frac{d\gamma'}{dt}$ la relation linéaire et homogène

$$\frac{d\gamma'}{dt} = a_1p_1\frac{d\theta'_1}{dt} + a_2p_2\frac{d\theta'_2}{dt} + \ldots + a_np_n\frac{d\theta'_n}{dt}, \quad (9)$$

dans laquelle les coefficients a_1, a_2, ... a_n ont les mêmes valeurs que dans la relation (8)

Ces expressions donnent lieu à quelques remarques utiles :

1° Voyons, à titre d'exemple, ce que devient γ' dans un cas très simple, celui où les résistances des alternateurs étant négligeables, les angles d'impédance α_k ont pour valeur $\frac{\pi}{2}$. Considérons, en particulier, le cas où le réseau se trouve à vide : alors $Z = \infty$ et les angles $\theta_k{}^0$ sont nuls et, de plus, $E_1 = E_2 = \ldots = E_n = U$. L'équation (7) donne dans ces conditions

$$\gamma' = \frac{\sum\frac{1}{Z_k}p_k\theta'_k}{\sum\frac{1}{Z_m}} \quad (10)$$

Dans le cas de deux alternateurs, par exemple, on a donc

$$a_1 = \frac{\frac{1}{Z_1}}{\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}} = \frac{Z_2}{Z_1+Z_2}, \qquad a^2 = \frac{\frac{1}{Z_2}}{\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}} = \frac{Z_1}{Z_1+Z_2}$$

et on voit que $a_1 + a_2 = 1$.

2° Calculons dans le cas général la valeur de la somme

$$a_1 + a_2 \ldots + a_n,$$

c'est-à-dire la valeur de l'expression (7), lorsqu'on y remplace les écarts angulaires $p_1\theta'_1$, $p_2\theta'_2$, ... $p_n\theta'_n$ par l'unité.

Pour cela remplaçons dans les équations (5) et (6) les angles $\theta_1, \theta_2, \ldots \theta_n$ par $\theta_1{}^0, \theta_2{}^0 \ldots \theta_n{}^0$ et γ par $\gamma_0 = 0$. En substituant alors les premiers membres dans la relation (7) où l'on a fait $p_1\theta'_1 = p_2\theta'_2 = \ldots = p_n\theta'_n = 1$, on trouve immédiatement que, pour cette valeur unité des écarts angulaires, on a $\gamma' = 1$. Il en résulte par conséquent la relation générale

$$a_1 + a_2 + \ldots + a_n = 1$$

et nous pouvons énoncer la proposition suivante dont l'importance se manifestera dans la suite : *la somme des coefficients a_1, a_2, ... a_n, qui caractérisent l'influence mutuelle des oscillations des diverses machines synchrones, est constante et égale à l'unité.* Ce résultat analytique traduit, comme on le verra plus loin, le fait que le système *constitué par n machines ne possède que n — 1 degrés de liberté.*

Remarque. — On peut vérifier que l'expression plus complète de γ', à laquelle on parvient par la méthode qui élimine la tension U, conduit de même à la relation $a_1 + a_2 + \ldots + a_n = 1$, comme il est évident à priori. Ce résultat se vérifie également sur l'expression plus rigoureuse des coefficients a_1, a_2, ... a_n, que l'on

obtiendra dans la troisième partie à l'aide de la méthode des deux réactions.

3. Equations générales. — Supprimons désormais, pour simplifier l'écriture, les accents des quantités θ et γ. Par substitution des expressions (8) et (9), les équations (3) deviennent

$$\left.\begin{aligned} &J_1\frac{d^2\theta_1}{dt^2}+C_{a1}\left[p_1\frac{d\theta_1}{dt}-\left(a_1p_1\frac{d\theta_1}{dt}+a_2p_2\frac{d\theta_2}{dt}+\dots\right)\right]\\ &\quad+C_{s1}[p_1\theta_1-(a_1p_1\theta_1+a_2p_2\theta_2+\dots)]=f_1(t)\\ &J_2\frac{d^2\theta_2}{dt^2}+C_{a2}\left[p_2\frac{d\theta_2}{dt}-\left(a_1p_1\frac{d\theta_1}{dt}+a_2p_2\frac{d\theta_2}{dt}+\dots\right)\right]\\ &\quad+C_{s2}[p_2\theta_2-(a_1p_1\theta_1+a_2p_2\theta_2+\dots)]=f_2(t)\\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\end{aligned}\right\}\quad(11)$$

B. **Recherche des périodes d'oscillations propres.** — Si l'on suppose d'abord que tous les couples perturbateurs $f(t)$ sont identiquement nuls, on se trouve en présence d'un système indépendant oscillant sous l'action des forces de rappel et soumis à des forces d'amortissement. Il se trouve toutefois que, dans les applications usuelles, les coefficients d'amortissement sont souvent suffisamment petits pour que les termes correspondants puissent être négligés dans l'équation caractéristique. On examinera d'une façon précise plus loin quel est l'ordre de grandeur des coefficients C_a pour lequel il est légitime de négliger ainsi les termes d'amortissement dans la recherche des périodes d'oscillations propres.

Bornons-nous, pour simplifier, à un système de trois machines. En laissant de côté les termes d'amortissement, j'écris par conséquent les équations sans seconds membres

$$\left.\begin{aligned} &J_1\frac{d^2\theta_1}{dt^2}+C_{s1}[p_1\theta_1-(a_1p_1\theta_1+a_2p_2\theta_2+a_3p_3\theta_3)]=0,\\ &J_2\frac{d^2\theta_2}{dt^2}+C_{s2}[p_2\theta_2-(a_1p_1\theta_1+a_2p_2\theta_2+a_3p_3\theta_2)]=0,\\ &J_3\frac{d^2\theta_3}{dt^2}+C_{s3}[p_3\theta_3-(a_1p_1\theta_1+a_2p_2\theta_2+a_3p_3\theta_3)]=0.\end{aligned}\right\}\quad(12)$$

Posons

$$\theta_1=\mu e^{rt},\qquad \theta_2=\nu e^{rt},\qquad \theta_3=\sigma e^{rt},$$

et substituons (1) ; la condition exprimant que les équations obtenues admettent des solutions μ, ν, σ différentes de zéro fournit l'équation caractéristique

$$\Delta=\begin{vmatrix} J_1r^2+C_{s1}p_1(1-a_1) & -C_{s1}p_2a_2 & -C_{s1}p_3a_3\\ -C_{s2}p_1a_1 & J_2r^2+C_{s2}p_2(1-a_2) & -C_{s2}p_3a_3\\ -C_{s3}p_1a_1 & -C_{s3}p_2a_2 & J_3r^2+C_{s3}p_3(1-a_3)\end{vmatrix}\quad(13)$$

Le développement de Δ fournit une équation du troisième degré en r^2

$$A_0r^6+A_1r^4+A_2r^2+A_3=0\quad(14)$$

dans laquelle le terme A_3 a pour expression

$$A_3=C_{s1}C_{s2}C_{s3}p_1p_2p_3\begin{vmatrix}1-a_1 & -a_2 & -a_3\\ -a_1 & 1-a_2 & -a_3\\ -a_1 & -a_2 & 1-a_3\end{vmatrix}$$

Ce déterminant est identiquement nul et l'on reconnaît aisément que ce résultat est absolument général : on a $A_n=0$.

L'équation caractéristique a donc dans tous les cas une racine r^2 nulle.

D'ailleurs il sera montré plus loin que, sous certaines conditions généralement satisfaites, les $n-1$ racines r^2 non nulles sont réelles et négatives.

Désignons-les alors par $-\omega_1^2$ et $-\omega_2^2$; les quatre racines r de cette équation sont donc $\pm j\omega_1$ et $\pm j\omega_2$, et il leur correspond deux périodes d'oscillations

$$T_1=\frac{2\pi}{\omega_1},\qquad T_2=\frac{2\pi}{\omega_2}.$$

(1) On sait que, par cette substitution, les équations (12) fournissent les équations homogènes

$$\begin{cases}[J_1r^2+C_{s1}p_1(1-a_1)]\mu-C_{s1}p_2a_2\nu-C_{s1}p_3a_3\sigma=0\\ -C_{s2}p_1a_1\mu+[J_2r^2+C_{s2}p_2(1-a_2)]\nu-C_{s2}p_3a_3\sigma=0\\ -C_{s3}p_1a_1\mu-C_{s3}p_2a_2\nu+[J_3r^2+C_{s3}p_3(1-a_3)]\sigma=0\end{cases}$$

et que la condition pour que celles-ci admettent des solutions μ, ν, σ, différentes de zéro, est que les exposants r^2 reçoivent des valeurs qui satisfassent à l'équation caractéristique (13).

Soient r_1^2, r_2^2, r_3^2 les racines de cette équation caractéristique ; pour chacune de ces valeurs, les équations homogènes ci-dessus se réduisent à deux (d'une façon générale à $n-1$ équations) et admettent par conséquent trois groupes de valeurs ν et ρ en fonction de la troisième, μ, dont la valeur doit être choisie arbitrairement. La solution la plus générale des équations (12) s'écrit alors

$$\begin{cases}\theta_1=\mu_1(C_1e^{r_1t}+C'_1e^{-r_1t})+\mu_2(C_2e^{r_2t}+C'_2e^{-r_2t})\\ \qquad\qquad+\mu_3(C_3e^{r_3t}+C'_3e^{-r_3t})\\ \theta_2=\nu_1(C_1e^{r_1t}+C'_1e^{-r_1t})+\nu_2(C_2e^{r_2t}+C'_2e^{-r_2t})\\ \qquad\qquad+\nu_3(C_3e^{r_3t}+C'_3e^{-r_3t})\\ \theta_3=\sigma_1(C_1e^{r_1t}+C'_1e^{-r_1t})+\sigma_2(C_2e^{r_2t}+C'_2e^{-r_2t})\\ \qquad\qquad+\sigma_3(C_3e^{r_3t}+C'_3e^{-r_3t})\end{cases}$$

où C_1, C_1', ... C'_3 sont des constantes arbitraires d'intégra-

Ces propositions s'étendent aisément au cas de n machines.

La solution générale des équations (12) s'écrit alors simplement

$$\left.\begin{aligned}\theta_1 &= \mu_1 C_1 \sin(\omega_1 t - \eta_1) + \mu_2 C_2 \sin(\omega_2 t - \eta_2)\\ \theta_2 &= \nu_1 C_1 \sin(\omega_1 t - \eta_1) + \nu_2 C_2 \sin(\omega_2 t - \eta_2)\\ \theta_3 &= \sigma_1 C_1 \sin(\omega_1 t - \eta_1) + \sigma_2 C_2 \sin(\omega_2 t - \eta_2)\end{aligned}\right\} \quad (15)$$

et dépend de quatre constantes arbitraires (d'une façon générale 2 n — 2 constantes) C_1, C_2, μ_1, μ_2. L'oscillation de chaque machine est ainsi la résultante de n — 1 oscillations « principales » ou « normales », qui correspondent aux n — 1 racines de l'équation (14).

Les fréquences ainsi calculées sont les « fréquences de résonance » pour le système des équations (11) avec seconds membres, c'est-à-dire pour le système des machines synchrones soumises à l'influencs des couples périodiques. Leur détermination est donc de la plus grande importance ; on trouvera à la fin de cet article un exemple de cette détermination dans le cas de trois alternateurs.

C. **Calcul des écarts angulaires** θ. — Il faut revenir aux équations complètes (11) avec seconds membres.

Les solutions périodiques s'obtiennent par la méthode classique de résolution des équations linéaires. Les seconds membres étant écrits sous la forme de séries de Fourier (1), il est commode de remplacer chaque terme tel que

$$H_q \cos(\Omega_q t - \gamma_q)$$

par

$$H_q e^{j(\Omega_q t - \gamma_q)}.$$

On sait qu'il faut ensuite considérer successivement les systèmes obtenus en ne conservant que les termes de même période. La solution correspondant aux termes de période T_q, par exemple, s'obtiendra en posant

$$\theta_1 = \rho_1 e^{j(\Omega_q t - \psi_1)}, \quad \theta_2 = \rho_2 e^{j(\Omega_q t - \psi_2)}, \quad \theta_3 = \rho_3 e^{j(\Omega_q t - \psi_3)}$$

et en substituant dans les équations proposées. La résolution de ces équations donne immédiatement des expressions de la forme

$$\rho e^{-j\psi} = \frac{A + jB}{C + jD}.$$

A partir de celle-ci, il est facile de calculer l'amplitude ρ et l'angle de phase ψ ; on a notamment

$$\rho = \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}}, \quad (16)$$

fraction dans laquelle A, B, C, D, sont des fonctions de la pulsation Ω_q et où l'expression désignée ici par D ne contient aucun terme indépendant des coefficients d'amortissement C_a.

Les pulsations Ω_q des couples perturbateurs pour lesquelles le système entre, à proprement parler, en résonance, sont celles pour lesquelles les amplitudes ρ atteignent des valeurs maxima. Lorsque les paramètres des diverses machines, J_k, C_a, C_s, a_k, sont connus numériquement. il est facile, par des méthodes d'approximation notamment, de déterminer les pulsations de résonance. Mais, en général, ce mode de détermination est inutile, car les périodes T_q des impulsions qui donnent lieu à ces maxima sont très approximativement les mêmes que les périodes d'oscillations propres du système supposé dépourvu de couples perturbateurs. Si les coefficients d'amortissement C_a sont en effet suffisamment petits (1) pour qu'ils puissent être négligés, le terme D^2 disparaît dans l'expression de ρ ; le terme C^2 ne renferme plus de termes d'amortissement et les périodes de résonance sont évidemment données par les racines de l'équation $C = 0$ (puisqu'elles rendent ρ infini). Or cette équation est identique à l'équation (13).

De ce que les termes d'amortissement peuvent être négligés pour le calcul des fréquences de résonance, il ne s'ensuit pas d'ailleurs que ces termes soient de peu d'importance : leur influence sur les amplitudes ρ elles-mêmes est, au contraire, considérable au voisinage de la résonance (2); ces amplitudes doivent être calculées par conséquent au moyen de l'expression complète

$$\rho = \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}}$$

tion. Les coefficients μ_1, μ_2, μ_3 ne constituent pas, d'ailleurs, trois constantes supplémentaires, puisqu'ils n'interviennent que dans les produits $\mu_1 C_1$, $\mu_1 C'_1$, ... $\mu_3 C'_3$, et, par conséquent, peuvent être englobés dans les constantes C_1, C_1', ... C_3'.

En examinant la nature de l'équation caractéristique dans le cas du problème relatif aux machines synchrones, on constate toutefois, ainsi qu'il est montré dans le texte, que l'une de ses racines est toujours nulle et que, d'autre part, les racines r^2 sont, en général, négatives. On est ainsi amené aux expressions (15) de la solution générale, qui traduisent le mouvement du système comme la somme de n — 1 oscillations composantes.

(1) Cette décomposition en séries de Fourier n'est d'ailleurs nullement indispensable, si on a recours à la méthode dite « de la variation des constantes ». A partir des courbes représentant les couples perturbateurs, courbes qui sont fournies par les diagrammes des efforts tangentiels, on construit des courbes dont il suffit ensuite d'effectuer l'intégration graphique. Ce procédé, toutefois, semble ne présenter aucun avantage dès qu'il s'agit de plusieurs machines fonctionnant en parallèle.

(1) Le sens qu'il convient d'attribuer à cette condition sera précisé dans la suite.

(2) L'influence de l'amortissement se manifeste, d'une part, sur l'amplitude des oscillations mécaniques, d autre part, sur les oscillations de la puissance électrique des alternateurs. Cette question se trouve étudiée avec beaucoup de clarté dans l'ouvrage de P. Janet. *Leçons d'Electrotechnique générale*, t. III (Gauthier-Villars, éditeurs, Paris). On trouvera notamment au paragraphe 95 (2e édition) l'expression de l'amortissement qui réduit au mieux les oscillations de la puissance électrique, ainsi que l'explication physique due à Görges de cette existence d'une valeur optimum de l'amortissement considéré à ce point de vue.

D. Oscillations de la grandeur et de la phase de la tension aux barres collectrices : calcul de l'intensité des courants dans les enroulements des machines. — Après le calcul des expressions complexes $\rho e^{-j\psi}$ des écarts angulaires θ, l'équation (7) fournit les valeurs de l'angle γ et les équations (5) et (6) donnent ensuite l'expression de la tension U. On remarquera que la valeur moyenne de celle-ci, qui est à introduire dans l'équation (7), est ordinairement l'une des données du problème, puisque c'est la tension du réseau d'utilisation.

Connaissant U, γ et les écarts angulaires θ, l'intensité du courant dans chaque machine se calculerait ensuite par la relation.

$$I_k = \frac{E_k e^{j(p_k\theta_{0k} + p_k\theta_k - \alpha_k)} - U e^{j(\gamma - \alpha_k)}}{Z_k}.$$

Mais nous avons déjà signalé, au début de cet article, que la considération d'une simple impédance vectorielle pour un alternateur, admise dans ce qui précède pour la clarté de l'exposition, n'est pas suffisante pour conduire à des résultats corrects, ni même convenablement approchés, à moins de la considérer elle-même dans les dérivations comme une fonction de l'angle que font entre elles la force électromotrice de l'alternateur et sa tension aux bornes. Les méthodes de calcul à utiliser dans la pratique et capables d'assurer une excellente approximation seront exposées plus loin.

E. Calcul des phénomènes transitoires. — Il est quelquefois nécessaire d'étudier les phénomènes qui prennent naissance par suite d'une variation brusque dans les conditions de fonctionnement du système, par exemple lorsque le couple résistant appliqué à un moteur synchrone vient à varier brusquement, ou lorsque la charge du réseau vient à être modifiée d'une façon subite.

L'analyse complète de semblables problèmes se heurte malheureusement à de grandes difficultés; il suffit pour s'en convaincre de rappeler qu'on devrait tenir compte de la présence des régulateurs de vitesse, de leur degré d'insensibilité, de leur écart de réglage, etc., et, d'autre part, de ce que les coefficients C_s, a_1, $a_2 \ldots a_n$ ne possèdent des valeurs constantes que pour des écarts angulaires limités à de faibles amplitudes.

Dans la pratique, il est donc indispensable d'introduire de larges simplifications, dont le choix est, avant tout, affaire de jugement. Un problème intéressant est, par exemple, de déterminer une valeur maximum des élongations que peuvent atteindre les roues polaires des alternateurs au moment d'une soudaine augmentation de la charge du réseau : ceci revient à considérer une soudaine diminution de l'impédance Z du réseau d'utilisation et, par suite, une modification des valeurs numériques des coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$.

On laissera de côté le rôle que peut exercer l'intervention des régulateurs de vitesse : c'est dire que les résultats obtenus ne peuvent constituer qu'une première approximation et qu'il sera prudent d'examiner ensuite si cette intervention n'est pas de nature à modifier le maximum d'élongation calculé.

Les solutions périodiques des équations (11) avant la perturbation font connaître, pour l'instant t_0 auquel on admet que se produit cette perturbation, les positions $p\theta^0 + p\theta$ des divers rotors d'alternateurs, ainsi que leurs vitesses angulaires, soit $2n$ valeurs numériques (1). On écrit ensuite les équations (11) avec les nouvelles valeurs des coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$ et leurs solutions complètes (termes transitoires et termes périodiques) et on détermine les $2n - 2$ constantes d'intégration

$$C_1, \quad C_2 \ldots C_{n-1}, \quad \eta_{11}, \quad \eta_{12} \ldots \eta_{n-1},$$

par la condition que les angles $p\theta^0 + p\theta$ ainsi que leurs dérivées aient, dans les deux cas, les mêmes valeurs à l'instant t_0 qui marque le passage de l'ancien mode de fonctionnement au nouveau.

Dans ces calculs, une notable simplification peut être apportée en négligeant les termes d'amortissement dans les équations différentielles écrites pour le fonctionnement qui suit l'instant $t = t_0$; cette simplification est généralement légitime si on limite l'étude du mouvement à un intervalle de temps très court après l'instant t_0.

Ayant obtenu ainsi les expressions des solutions complètes après la perturbation, il serait facile de calculer les déviations maxima que subissent les rotors des machines synchrones, si les coefficients $C_s, a_1, a_2, \ldots a_n$ conservaient des valeurs invariables au cours du déplacement. En réalité, ces coefficients sont fonction des angles $p\theta^0 + p\theta$ eux-mêmes et, par suite, un résultat correct ne peut être atteint, en général, qu'en ayant recours à un calcul effectué pas à pas.

Nous nous bornerons à ces indications. Soulignons cependant que, dans ces problèmes, les perturbations mises en cause n'ont en aucune sorte le caractère d'une impulsion mécanique : il y a discontinuité dans les accélérations, non dans les vitesses. Supposons même que l'ouverture d'un disjoncteur vienne à déconnecter un alternateur du système; ce fait se traduit analytiquement par la suppression soudaine de l'un des coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$, c'est-à-dire par la disparition d'une force de liaison entre cet alternateur et les machines restantes : il est bien connu que la suppression d'une liaison dans un système mécanique ne saurait, en aucun cas, être considérée comme une impulsion.

IV. Examen de la stabilité et influence des couples d'amortissement. — A. Réduction des équations du mouvement pendulaire de n machines

(1) Parmi ces $2n$ valeurs numériques, $2n - 2$ seulement sont des quantités indépendantes. On verra très clairement, en effet, dans la note II, qu'il existe à chaque instant une relation linéaire entre les n écarts angulaires $p\theta$, et de même entre leurs dérivées.

synchrones couplées en parallèle aux équations différentielles de la théorie générale des oscillations des systèmes mécaniques doués de n-1 degrés de liberté. — L'intérêt de cette transformation analytique sera de rendre valables, pour le problème qui nous occupe, les démonstrations de propriétés générales connues qui sont établies en mécanique relativement aux systèmes oscillants. Afin d'alléger le texte de cet exposé, les développements algébriques en ont été écartés dans toute la mesure possible; les plus importants seront donnés en notes annexes (notes II et III).

La possibilité de ramener les deux problèmes l'un à l'autre est loin d'être évidente : aux équations qui traduisent un phénomène purement mécanique, nous avons dû, en effet, ajouter une équation relative aux intensités des courants. Mais nous allons montrer qu'il est facile de faire subir aux équations fondamentales du problème, équations (11), des transformations qui les réduisent à la forme même de celles que l'on obtient en mécanique analytique dans l'étude des vibrations des systèmes : il devient dès lors légitime d'appliquer au problème actuel les résultats fondamentaux établis en mécanique sur l'existence des vibrations principales dites « normales », et leur stabilité; et il devient facile de rechercher les conditions dans lesquelles la présence des facteurs d'amortissement ne modifie pas d'une façon appréciable les périodes des oscillations.

Considérons les équations (11); s'il est clair tout d'abord que les termes d'inertie $J_k \frac{d^2\theta_k}{dt^2}$ sont les dérivées d'une fonction cinétique, on remarque, par contre, que les expressions des couples ne dérivent pas d'une fonction de forces. Mais faisons le changement de variables $\theta_k = p_k\theta_k$, c'est-à-dire désignons ici par $\theta_1, \theta_2, \theta_n$ les écarts angulaires électriques et multiplions les équations respectivement par $\frac{a_1}{C_{s1}}, \frac{a_2}{C_{s2}}, \dots \frac{a_n}{C_{sn}}$. Elles s'écrivent alors

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{a_1}{C_{s1}}\frac{J_1}{p_1}\frac{d^2\theta_1}{dt^2} + a_1\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\left[\frac{d\theta_1}{dt} - \left(a_1\frac{d\theta_1}{dt} + a_2\frac{d\theta_2}{dt} + \dots\right)\right] \\
&\qquad + a_1[\theta_1 - (a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \dots)] = 0 \\
&\frac{a_2}{C_{s2}}\frac{J_2}{p_2}\frac{d^2\theta_2}{dt^2} + a_2\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\left[\frac{d\theta_2}{dt} - \left(a_1\frac{d\theta_1}{dt} + a_2\frac{d\theta_2}{dt} + \dots\right)\right] \\
&\qquad + a_2[\theta_2 - (a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \dots)] = 0 \\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots
\end{aligned}\right\} \quad (17)$$

Adoptons désormais la notation θ' pour $\frac{d\theta}{dt}$. Une forme quadratique T qui jouera le rôle de fonction cinétique est évidemment donnée par l'expression :

$$2T = \frac{a_1}{C_{s1}}\frac{J_1}{p_1}\theta'^2_1 + \frac{a_2}{C_{s2}}\frac{J_2}{p_2}\theta'^2_2 + \dots + \frac{a_n}{C_{sn}}\frac{J_n}{p_n}\theta'^2_n. \quad (18)$$

D'autre part, une fonction V, analogue à la fonction potentielle, s'obtient aisément en écrivant

$$2V = a_1\theta_1^2 + a_2\theta_2^2 + \dots + a_n\theta_n^2 - (a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \dots + a_n\theta_n)^2. \quad (19)$$

Enfin, pour introduire une fonction analogue à la fonction dissipatrice d'énergie, il faut poser

$$2F = a_1\theta'^2_1 + a_2\theta'^2_2 + \dots + a_n\theta'^2_n - (a_1\theta'_1 + a_2\theta'_2 + \dots a_n\theta'_n)^2, \quad (20)$$

mais cette fonction F n'est pas une fonction de forces, car ses dérivées doivent être multipliées par les coefficients $\frac{C_{a1}}{C_{s1}}, \frac{C_{a2}}{C_{s2}}, \dots$ pour exprimer les termes d'amortissement dans les équations (17). Ces équations prennent alors la forme :

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial\theta'_1} + \frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial F}{\partial\theta'_1} + \frac{\partial V}{\partial\theta_1} = 0 \\
&\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial\theta'_2} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial F}{\partial\theta'_2} + \frac{\partial V}{\partial\theta_n} = 0 \\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
&\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial\theta'_n} + \frac{C_{an}}{C_{sn}}\frac{\partial T}{\partial\theta'_n} + \frac{\partial V}{\partial\theta_n} = 0
\end{aligned}\right\} \quad (21)$$

B. **Etude du système supposé sans amortissement.** — Considérons d'abord le système des équations (21) en supposant tous les coefficients d'amortissement C_a négligeables. Il résulte, dans ce cas, des théorèmes généraux que, sous la seule condition que la forme quadratique T soit une forme définie positive, il est toujours possible, par une transformation linéaire à coefficients réels effectuée sur les variables θ, de réduire simultanément les formes T et V à des sommes de n carrés indépendants :

$$\left.\begin{aligned}
T &= \tfrac{1}{2}(q'^2_1 + q'^2_2 + \dots + q'^2_n) \\
V &= \tfrac{1}{2}(\lambda_1 q_1^2 + \lambda_2 q_2^2 + \dots + \lambda_n q_n^2)
\end{aligned}\right\} \quad (22)$$

Les variables $q_1, q_2 \dots q_n$ sont appelées coordonnées « principales » ou « normales » (1) du système. Cette transformation est une transformation réelle; autrement dit, on a l'assurance que les coefficients λ sont tous réels. Il est à remarquer que, contrairement à ce qui se présente pour les problèmes de mécanique pure, où la fonction cinétique T est dans tous les cas une forme définie positive, cette condition ne se trouve pas ici forcément réalisée; elle exige que les coefficients

(1) Sur cette question de la réduction aux coordonnées normales pour l'étude des systèmes oscillants, voir J.-B. POMEY. *Analogies mécaniques de l'Electricité*, Gauthier-Villars, éditeur, Paris, (1921), et le traité de E.-T. WHITTAKER. *Analytical Dynamics*, Londres, Cambridge University-Press.

$\frac{a_k}{C_{sk}}$ soient tous positifs; il en est ainsi certainement d'ailleurs si les angles $p_k\,\theta^0_k$ qui caractérisent l'état de charge des machines ne sont pas supérieurs à 90 degrés, ce qui est toujours réalisé dans la pratique, et lorsque le réseau n'est pas en charge sur une capacité (ce qui rend sin φ négatif dans l'expression de γ et, par suite, des coefficients a_k), ou du moins s'il n'est en charge que sur une capacité suffisamment faible.

Les équations (21) deviennent alors, par l'emploi des coordonnées normales,

$$\left.\begin{aligned} q''_1 + \lambda_1 q_1 &= 0 \\ q''_2 + \lambda_2 q_2 &= 0 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\} \quad . \qquad (23)$$

Si les coefficients λ sont tous positifs, on peut poser $\lambda = \omega^2$ et écrire ces équations

$$\left.\begin{aligned} q''_1 + \omega_1{}^2 q_1 &= 0 \\ q''_2 + \omega_2{}^2 q_2 &= 0 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\}$$

Leurs solutions sont par conséquent de la forme :

$$\left.\begin{aligned} q_1 &= C_1 \sin(\omega_1 t - \eta_1) \\ q_2 &= C_2 \sin(\omega_2 t - \eta_2) \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\}$$

où les C et les η sont des constantes à déterminer ultérieurement. Elles constituent les oscillations composantes des oscillations θ qui ont pour expression :

$$\left\{\begin{aligned} \theta_1 &= \mu_1 C_1 \sin(\omega_1 t - \eta_1) + \mu_2 C_2 \sin \omega_2 t - \eta_2) + \ldots \\ \theta_2 &= \nu_1 C_1 \sin(\omega_1 t - \eta_1) + \nu_2 C_2 \sin(\omega_2 t - \eta_2) + \ldots \\ \theta_3 &= \sigma_1 C_1 \sin(\omega_1 t = \eta_1) + \sigma_2 C_2 \sin(\omega_2 t - \eta_2) + \ldots \text{etc.}, \end{aligned}\right.$$

solution générale du système proposé, qui dépend de $2n$ constantes C et η. Les coefficients $\mu_1, \mu_2, \ldots \nu_1, \nu_2 \ldots$ $\sigma_1, \sigma_2 \ldots$, sont des quantités dont la valeur est imposée par les transformations ponctuelles qui ont fourni la forme (1) quadratique (22).

La question se pose alors, et elle constitue en définitive l'objet de ce paragraphe, de connaître quelle est la condition nécessaire et suffisante pour que les coefficients λ qui figurent dans les équations (23) soient tous positifs.

Pour plus de généralité dans les notations, écrivons les fonctions quadratiques T et V sous la forme :

$$\left\{\begin{aligned} 2T &= a_{11}\theta'_1{}^2 + a_{22}\theta'_2{}^2 + \ldots + 2a_{12}\theta'_1\theta'_2 + 2a_{13}\theta'_1\theta'_3 + \ldots \\ 2V &= b_{11}\theta_1{}^2 + b_{22}\theta_2{}^2 + \ldots + 2b_{12}\theta_1\theta_2 + 2b_{13}\theta_1\theta_3 + \ldots \end{aligned}\right.$$

(1) D'ailleurs les pulsations $\omega_1, \omega_2, \ldots \omega_n$, des oscillations normales, ou plus exactement leurs carrés $\omega_1{}^2, \omega_2{}^2 \ldots \omega_n{}^2$, sont les racines de l'équation déterminante (24) (voir la note III donnée en annexe); or, celle-ci n'est autre que l'équation caractéristique (13) et on a établi à partir de cette équation (13) la solution générale donnant l'expression des écarts angulaires θ en fonction des oscillations composantes, c'est-à-dire des oscillations normales du système.

où on a : $a_{12} = a_{21}$, $a_{13} = a_{31}$, $\ldots$ $b_{12} = b_{21}$, $\ldots$ On démontre dans l'étude des systèmes mécaniques oscillants que la condition cherchée est que le hessien Δ_1 de la forme quadratique V, ainsi que les déterminants principaux de tous ordres $\Delta_2, \Delta_3, \ldots \Delta_n$,

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \ldots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \ldots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \ldots & b_{nn} \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} b_{22} & b_{23} & \ldots & b_{2n} \\ b_{32} & b_{33} & \ldots & b_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n2} & b_{n3} & \ldots & b_{nn} \end{vmatrix} \quad \ldots \quad \Delta_n = b_{nn}$$

soient positifs. Or, si nous écrivons ces déterminants à partir de l'expression (19), nous obtenons (1)

$$\Delta_1 = a_1 a_2 \ldots a_n [1 - (a_1 + a_2 + \ldots + a_n)] = 0$$

$$\Delta_2 = a_2 a_3 \ldots a_n [1 - (a_2 + a_3 + \ldots + a_n)] = a_1 a_2 \ldots a_n$$

$$\Delta_3 = a_3 a_4 \ldots a_n [1 - (a_3 + a_4 + \ldots + a_n)] = (a_1 + a_2) a_3 a_4 \ldots a_n$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\Delta_n = a_n [1 - a_n] = (a_1 + a_2 + \ldots + a_{n-1})\, a_n$$

$$\gamma = a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \ldots + a_n\theta_n.$$

Les déterminants $\Delta_2, \Delta_3, \ldots \Delta_n$ sont certainement positifs, dans toutes les conditions de fonctionnement pratiquement réalisées, lorsque le réseau n'est pas en charge sur une capacité, ou du moins si la capacité est suffisamment petite ; par contre, le déterminant Δ_1 est identiquement nul par suite de la relation $\Sigma a_k = 1$ établie plus haut. Comme les coefficients λ des équations (23) sont d'ailleurs les racines du déterminant égalé à zéro (2)

$$\begin{vmatrix} a_{11}\lambda - b_{11} & a_{12}\lambda - b_{12} & \ldots & a_{1n}\lambda - b_{1n} \\ a_{21}\lambda - b_{21} & a_{22}\lambda - b_{22} & \ldots & a_{2n}\lambda - b_{2n} \\ a_{31}\lambda - b_{31} & \cdots\cdots & \cdots & \cdots\cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1}\lambda - b_{n1} & a_{n2}\lambda - b_{n2} & \ldots & a_{nn}\lambda - b_{nn} \end{vmatrix} = 0 \qquad (24)$$

on en conclut que l'une des racines λ est nulle. Les autres sont toutes positives, lorsque les déterminants $\Delta_2, \Delta_3, \ldots \Delta_n$ sont positifs.

De ce qu'une racine λ_i est nulle, faut-il d'ailleurs

(1) On aura soin de ne pas confondre les coefficients a_{11}, a_{22}, a_{12} ... de la forme quadratique T, avec les coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$ qui figurent dans l'expression (19) et proviennent de la relation $a_1 + a_2 + \ldots + a_n = 1$.

(2) Pour plus de détails, se reporter à la note III et aux ouvrages mentionnés ci-dessus de J.-B. Pomey et de E.-T. Whittaker.

conclure à l'instabilité de la solution de l'équation (23) correspondante? Cette équation se réduit à

$$q''_i = 0 \text{ d'où } q_i = At + B,$$

ce qui représente un déplacement indéfini, à moins toutefois que la constante d'intégration A ne soit nécessairement nulle.

Pour décider, écrivons la loi de la conservation de l'énergie

$$T + V = \text{constante}.$$

A vrai dire, les fonctions T et V, telles que définies par les expressions (18) et (19), sont des sommes de termes dépourvus de dimensions et, par suite, ne sont pas réellement des fonctions cinétiques et potentielles; mais il suffit, pour lever cette difficulté, de multiplier (18) et (19) par un même facteur $\frac{C_{s1}}{a_1}$, par exemple; ce n'est que pour conserver plus de symétrie dans l'écriture que les fonctions T et V ont été écrites sous la forme (18) et (19) malgré l'inconvénient de leur enlever les dimensions des grandeurs physiques auxquelles elles correspondent.

La loi $T + V =$ constante s'écrit

$$(q'_1{}^2 + q'_2{}^2 + \ldots + q'_n{}^2)$$
$$+ (\lambda_1 q_1{}^2 + \lambda_2 q_2{}^2 + \ldots + \lambda_n q_n{}^2) = \text{constante}.$$

Pour qu'une coordonnée normale q_i puisse croître indéfiniment, il faudrait que l'un au moins des coefficients λ fût négatif; il ne suffit pas que λ_i soit nul.

Si aucun des déterminants Δ n'est négatif, il faut donc conclure que q_i est égal à zéro (ou à une constante), et, par suite, le système constitué par les n machines est un système oscillant stable et ne comporte que $n-1$ degrés de liberté. Les oscillations de chaque machine sont la somme de $n-1$ oscillations normales.

Ainsi la réduction à $n-1$ modes normaux d'oscillations seulement est un fait analytiquement lié à la propriété $\Sigma a_k - 1 = 0$ que nous avons établie antérieurement, et cette réduction est toujours possible lsrsque les conditions indiquées sont satisfaites : la forme T, forme définie positive, et les déterminants $\Delta_1, \Delta_2, \ldots \Delta_n$, positifs.

D'ailleurs, si certains de ces déterminants sont nuls, on obtient pour une au moins des racines λ une valeur nulle et le même raisonnement que ci-dessus montre que si m nouveaux coefficients λ sont nuls, le mouvement du système n'est plus la résultante que de $n - m - 1$ oscillations normales.

Enfin, si l'un des déterminants est négatif, une ou plusieurs des racines λ sont négatives et les solutions des équations (23) correspondantes sont instables, — dans la mesure toutefois où l'amplitude du mouvement ne vient pas à modifier suffisamment les valeurs des coefficients pour infirmer cette conclusion. (Voir note I en annexe).

C. **Mouvement pendulaire en tenant compte des termes d'amortissement.** — Nous ne considérerons ce cas qu'en vue de pouvoir appliquer au problème actuel, à partir des équations générales (21), la proposition suivante : lorsque les coefficients C_a des termes d'amortissement sont suffisamment petits pour que leurs carrés puissent être négligés dans les équations différentielles du mouvement, les périodes d'oscillations « normales » du système sont les mêmes que celles du système dépourvu de tout amortissement.

Il en résulte que, sous cette réserve concernant les coefficients C_a, ces périodes d'oscillation du système sont, dans tous les cas, fournies par les racines de l'équation (13).

La proposition ci-dessus est un résultat acquis en mécanique dans la théorie des systèmes oscillants amortis, lorsque les équations du mouvement de ces systèmes peuvent être réduites au moyen d'une transformation linéaire, à la forme

$$\left.\begin{aligned} q''_1 + \lambda_1 q_1 + \alpha_1 q'_1 + \beta_1 q'_2 + \ldots + \gamma_1 q'_n = 0 \\ q''_2 + \lambda_2 q_2 + \alpha_2 q'_2 + \beta_2 q'_2 + \ldots + \gamma_2 q'_n = 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \quad (25)$$

et que les coefficients $\alpha, \beta, \ldots \gamma$ sont d'un ordre de grandeur tel que leurs carrés soient négligeables.

La démonstration est immédiate dans le cas de deux variables. Considérons en effet les équations

$$\begin{cases} q''_1 + \alpha_1 q'_1 + \beta_1 q'_2 + \lambda_1 q_1 = 0 \\ q''_2 + \alpha_2 q'_1 + \beta_2 q'_2 + \lambda_2 q_2 = 0 \end{cases}$$

La solution s'obtient en posant $q_1 = \mu e^{rt}$, $q_2 = \nu e^{rt}$; d'où

$$\begin{cases} (r^2 + \alpha_1 r + \lambda_1)\mu + \beta_1 r \nu = 0 \\ \alpha_2 r \mu + (r^2 + \beta_2 r + \lambda_2)\nu = 0 \end{cases}$$

et on a l'équation caractéristique

$$\begin{vmatrix} r^2 + \alpha_1 r + \lambda_1 & \beta_1 r \\ \alpha_2 r & r^2 + \beta_2 r + \lambda_2 \end{vmatrix} = 0.$$

Si les termes du second degré en α et β sont négligeables, elle se réduit à

$$(r^2 + \alpha_1 r + \lambda_1)(r^2 + \beta_2 r + \lambda_2) = 0$$

dont les racines sont simplement, puisque $\alpha_1{}^2$ et $\beta_2{}^2$ sont négligeables,

$$r_1 = -\frac{\alpha_1}{2} \pm j\sqrt{\lambda_1}, \qquad r_2 = -\frac{\beta_2}{2} \pm j\sqrt{\lambda_2}$$

ou, en adoptant les notations $\omega_1{}^2$, $\omega_2{}^2$ pour λ_1 et λ_2,

$$r_1 = -\frac{\alpha_1}{2} \pm j\omega_1, \qquad r_2 = -\frac{\beta_2}{2} \pm j\omega_2,$$

ce qui montre bien que les périodes $\frac{2\pi}{\omega_1}$ et $\frac{2\pi}{\omega_2}$ sont les mêmes que pour le système sans amortissement.

Cette propriété s'établit par un raisonnement analogue pour les systèmes mécaniques dans le cas général d'un nombre quelconque de degrés de liberté. Il est intéressant d'en étendre l'application aux systèmes oscillants constitués par des machines synchrones et, pour cela, d'effectuer sur les équations (21) la transformation qui les réduit à la forme (25), puis de préciser, pour le problème actuel, quel est l'ordre de grandeur des coefficients d'amortissement qui permet de les négliger effectivement. Cette étude fera l'objet de la note III; elle aboutit à ce résultat, que les périodes d'oscillations normales peuvent être calculées avec une grande approximation sans tenir compte des termes d'amortissement, lorsque les coefficients C_a sont suffisamment petits pour que l'on ait (1)

$$\left[\Sigma \frac{C_a}{C_s}\right]^2_{max} \left(\frac{4\pi^2}{T'^2_{min}}\right)^2 \text{ très petit en regard de } \frac{4\pi^2}{T'^2_{max}}$$

en désignant par $\Sigma\left(\frac{C_a}{C_s}\right)$ la somme des rapports $\frac{C_a}{C_s}$ relatifs aux diverses machines, et par T_{min} et T_{max} respectivement la plus petite et la plus grande période des oscillations normales calculées pour le système sans amortissement.

(*A suivre*).

Ch. GALMICHE,
Ingénieur à la Société
Le Matériel électrique S. W.

Diagramme de fonctionnement d'un transformateur autorégulateur à enroulement mobile

Après avoir indiqué le principe du fonctionnement du transformateur autorégulateur à enroulement mobile, l'auteur en établit les équations pour en déduire le diagramme du courant primaire, la tension primaire étant constante. Cette étude, basée sur les équations fondamentales du transformateur ordinaire, à enroulements fixes, nécessite l'introduction d'un certain nombre d'hypothèses, notamment sur la loi de la variation du coefficient de dispersion avec le déplacement de l'enroulement mobile. Cette loi étant explicitée sous une forme simple, mais acceptable dans les limites considérées du déplacement, il est possible de résoudre le problème que se propose l'auteur; de la solution, qui ne peut être qu'approchée, sont déduites les propriétés essentielles de l'appareil étudié.

I. **Introduction.** — Le transformateur à enroulement mobile est d'un emploi fréquent dans les installations d'éclairage public en Italie et aux Etats-Unis. Les lampes branchées en série et alimentées par l'intermédiaire d'un tel transformateur sont alors parcourues par un courant sensiblement constant.

L'avantage le plus important qui en résulte réside dans la sensibilité du réglage de courant permettant de réaliser le régime optimum de tous les foyers lumineux.

L'étude qui suit contient quelques considérations théoriques sur le transformateur autorégulateur et a pour but de faire ressortir les particularités de son fonctionnement sans prétendre à beaucoup de rigueur.

II. **Description et principe de son fonctionnement.** — Le transformateur autorégulateur est représenté schématiquement sur la figure 1. Il comporte un enroulement primaire fixe 1 et un enroulement secondaire mobile 2 porté par un fléau F et équilibré en partie par un contre-poids P.

Le circuit de charge est alimenté par l'enroulement mobile par l'intermédiaire de connexions souples.

La force de répulsion exercée par l'enroulement fixe sur l'enroulement mobile compense l'excédent du poids de ce dernier et l'équilibre s'établit pour une position déterminée en fonction de la charge.

L'expérience démontre que, si la force appliquée à l'enroulement mobile et opposée à l'action électromagnétique est maintenue constante, le courant secondaire devient sensiblement invariable et, dans certaines limites, indépendant de la résistance du circuit de charge.

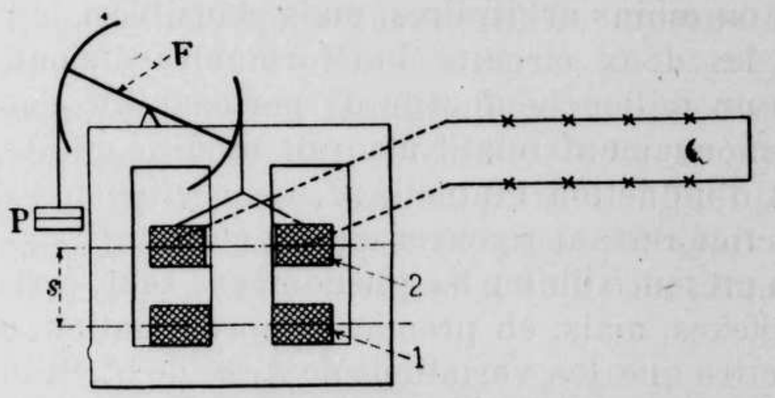


Fig. 1. — Schéma d'un transformateur à enroulement mobile.

(1) Le couple d'amortissement étant de la forme

$$C_a\left(\frac{d\theta}{dt} - \frac{d\gamma}{dt}\right)$$

et le couple élastique étant de la forme $C_s(\theta - \gamma)$, on voit que le rapport $\frac{C_a}{C_s}$ a les dimensions d'un temps.

III. **Equations du transformateur autorégulateur.** — Désignons par L_1 et L_2 les coefficients de self-induction des enroulements 1 et 2 et par M leur coefficient d'induction mutuelle. D'autre part, soient U_1 la tension primaire, I_1 le courant primaire, I_2 le courant secondaire et R_2 une résistance variable comprenant la résistance de l'enroulement secondaire et celle de la charge. L'enroulement primaire est supposé avoir une résistance R_1.

Posons $j = \sqrt{-1}$ et désignons la pulsation du courant par $\omega = 2\pi f$. Pour un régime de charge déterminé et une position correspondante de la bobine mobile, on disposera de deux équations qui s'écrivent comme il suit en notations symboliques,

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (R_1 + j\omega L_1) I_1 + j\omega M I_2 \\ 0 &= (R_2 + j\omega L_2) I_2 + j\omega M I_1 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Formons les produits vectoriels en multipliant les deux membres de la première équation par I_1 et ceux de la deuxième par I_2.

En désignant par φ_1 la phase du courant I_1 par rapport à la tension U_1 et par φ_{12} l'angle entre les vecteurs I_1 et I_2, on obtient le résultat suivant :

$$U_1 I_1 \sin \varphi_1 = \omega L_1 I_1^2 + \omega M I_1 I_2 \cos \varphi_{12} \quad (2)$$

$$0 = \omega L_2 I^2_2 + \omega M I_1 I_2 \cos \varphi_{12}. \quad (3)$$

Les relations (2) et (3) sont des relations scalaires ne contenant que des valeurs efficaces des courants.

Les coefficients d'induction figurant dans les équations (2) et (3) ne sont pas constants, mais ils dépendent de la position relative des enroulements ou, autrement dit, sont fonctions de la distance s qui les sépare.

Il est difficile, à priori, de préciser cette fonction et il ne reste qu'à admettre des hypothèses, sans doute plus ou moins arbitraires, mais plausibles.

Si les deux circuits indéformables étaient placés dans un milieu homogène de perméabilité constante, leur mouvement relatif n'aurait modifié que le coefficient d'induction mutuelle M, les coefficients de self-induction restant rigoureusement constants.

En présence du fer les phénomènes sont, certes, plus complexes, mais, en première approximation, on peut admettre que les variations de L_1 et de L_2 sont négligeables devant celles de M.

L'effort exercé sur la bobine mobile est proportionnel au taux de variation du coefficient M et au produit des courants circulant dans les enroulements. Sa valeur moyenne, exprimée en fonction des valeurs efficaces des courants, est

$$\frac{\partial M}{\partial s} I_1 I_2 \cos \varphi_{12}.$$

Elle dépend donc de la loi de variation de M en fonction de s.

On remarque que la variation de M, très rapide lorsque les bobines sont rapprochées, devient de plus en plus lente à mesure que les enroulements s'éloignent l'un de l'autre. L'hypothèse qui paraît la plus simple est d'admettre que le taux de variation de M est proportionnel à la valeur elle-mêne du coefficient M et de poser

$$\frac{\partial M}{\partial s} \equiv M.$$

Ceci revient à admettre une loi logarithmique pour la variation de M en fonction de s, dans les limites des déplacements compatibles avec les limites du réglage.

Dans ces conditions et en supposant que la force mécanique contrebalançant la répulsion est maintenue constante en tous points de la course, le terme $\omega M I_1 I_2 \cos\varphi_{12}$ devient lui-même constant.

En désignant par C une constante positive, on pourra alors écrire l'équation (3) sous la forme :

$$\omega L_2 I^2_2 - C = 0. \quad (4)$$

Dans l'hypothèse admise, la valeur absolue du courant secondaire I_2 ne dépend donc que de la constante C, déterminée elle-même uniquement par le poids P.

La condition (4) ne contenant pas de termes en U_1 et R_2, le courant restera constant et indépendant non seulement de la résistance du circuit de charge, mais aussi de la tension primaire U_1.

IV. **Diagramme du courant.** — Supposons, maintenant, que la tension primaire soit maintenue constante et cherchons à établir dans ce cas le diagramme du courant primaire I_1.

En tenant compte de la relation (4) l'équation (2) s'écrit

$$U_1 I_1 \sin \varphi_1 = \omega L_1 I_1^2 - C. \quad (5)$$

Désignons par i_a et i_r les composantes active et réactive du courant I_1 en posant

$$\left.\begin{aligned} i_a &= I_1 \cos \varphi_1 \\ i_r &= I_1 \sin \varphi_1. \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Introduisons ces notations dans l'équation (5),

$$U_1 i_r = \omega L_1 (i_a^2 + i_r^2) - C.$$

Après transformation on trouve

$$i_a^2 + i_r^2 - \frac{U_1}{\omega L_1} i_r = \frac{C}{\omega L_1} \quad (7)$$

En considérant i_a et i_r comme les coordonnées du vecteur I_1, l'équation (7) est celle d'une circonférence (fig. 2) dont le centre est situé au point B sur l'axe des courants réactifs à une distance OB de l'origine, égale à

$$OB = \frac{U_1}{2\omega L_1}. \quad (8)$$

Le rayon ρ de la circonférence, défini par son carré, est

$$\rho^2 = \frac{C}{\omega L_1} + \left(\frac{U_1}{2\omega L_1}\right)^2 = \frac{L_2}{L_1} I_2^2 + \left(\frac{U_1}{2\omega L_1}\right)^2. \quad (9)$$

Si on néglige la résistance R_1 de l'enroulement pri-

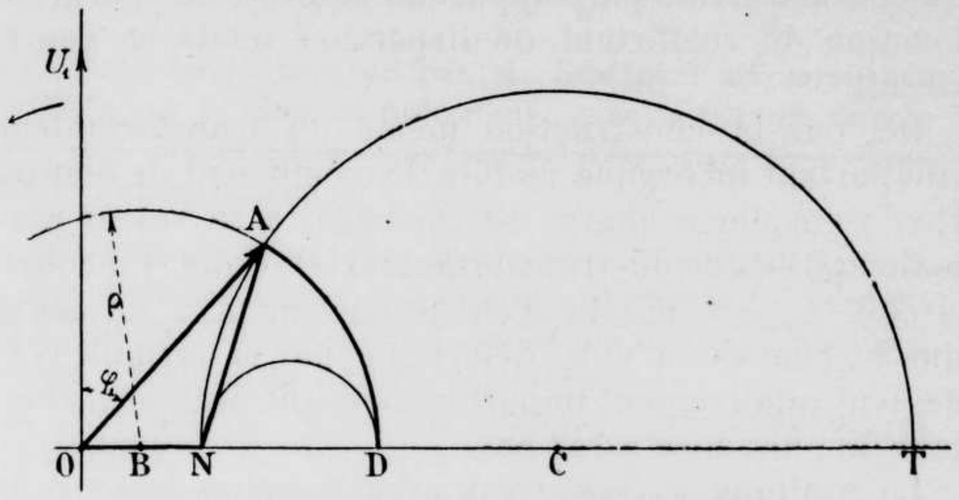


Fig. 2. — Diagramme de fonctionnement d'un transformateur à enroulement mobile.

maire devant son inductance totale ωL_1, le courant à vide I_0 devient

$$I_0 = \frac{U_1}{\omega L_1}. \quad (10)$$

Dans ce cas on a

$$OB = \frac{1}{2} I_0 \quad (8\ bis)$$

et

$$\rho^2 = \frac{L_2}{L_1} I_2^2 + \left(\frac{I_0}{2}\right)^2. \quad (9\ bis)$$

Si $\frac{n_1}{n_2}$ est le rapport du nombre de spires des deux enroulements on a approximativement

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (11)$$

et

$$\frac{L_2}{L_1} I'^2_2 = I'^2_2. \quad (12)$$

Le courant $I'_2 = \frac{n_2}{n_1} i_2$ est le courant secondaire rapport au circuit primaire.

Pour un contrepoids invariable et un fléau de longueur constante, tous les points du diagramme $OA = I_1$ seront situés sur la circonférence de rayon ρ ayant son centre au point B.

D'autre part, pour chaque position des enroulements le point de fonctionnement doit également appartenir au diagramme circulaire bien connu établi pour une valeur particulière du coefficient de dispersion σ dont l'expression est

$$\sigma = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 L_2}.$$

Ce deuxième diagramme circulaire représente, comme on le sait, l'épure vectorielle du courant I_1 pour toute valeur R_2 en supposant σ constant.

Considérons, d'abord, la plus forte valeur de σ qui a lieu en pleine charge lorsque les deux enroulements sont le plus rapprochés et décrivons la demi-circonférence NAT ayant son centre C sur l'axe horizontal et passant par les points N et T définis comme il suit,

$$ON = I_0, \qquad OT = \frac{1}{\sigma} I_0. \quad (13)$$

Lorsque la résistance R_2 varie de l'infini à zéro, le vecteur OA décrit la demi-circonférence NAT.

Le point d'intersection A des deux circonférences correspond, ainsi, au régime de pleine charge. Pour tout autre régime de fonctionnement avec une résistance R_2 plus faible, l'extrémité du vecteur $I_1 = OA$ sera située sur l'arc de cercle AD, le courant OD étant celui qu'on obtient en court-circuit pour $R_2 = 0$.

Le coefficient de dispersion au régime de court-circuit sera $\sigma_{cc} = \frac{ON}{OD}$ et les deux circonférences n'auront qu'un seul point commun D.

Revenons un instant aux équations fondamentales (1).

Toujours en négligeant la résistance R_1 de l'enroulement primaire, on tire de la première

$$I_0 = I_1 + \frac{M}{L_1} I_2. \quad (14)$$

Or, les vecteurs I_0 et I_1 sont représentés sur le diagramme de la figure 2 par les droites ON et OA. On en conclut que la droite NA représente la grandeur $\frac{M}{L_1} I_2$.

Comme la valeur absolue de I_2 est supposée invariable et le coefficient L_1 est constant par hypothèse, la longueur du segment NA est proportionnelle au coefficient d'induction mutuelle M qu'elle mesure à une certaine échelle.

On remarque que la famille de toutes les circonférences correspondant aux diverses valeurs de σ (et par conséquent de M) passe par un point fixe N et par un autre point T dont la position dépend de la valeur de M.

Les deux segments de droites NA et NT sont fonctions d'une seule variable $\frac{M}{L_1} I_2$.

En effet, on a les relations

$$NA = \frac{M}{L_1} I_2, \qquad NT = i_0 \frac{\left(\frac{M}{L_1} I_2\right)^2}{\frac{L_2}{L_1} I_2^2 - \left(\frac{M}{L_1} I_2\right)^2}. \quad (15)$$

En éliminant le paramètre variable de ces deux relations on aboutit à l'équation du lieu géométrique des points A avec le résultat identique d'ailleurs à celui déjà trouvé.

V. Conclusion. — Le diagramme de la figure 2 est donc indépendant de la loi de variation du coefficient

d'induction mutuelle et il se trouve déterminé par la seule condition $|I_2| =$ constante. Il sera, d'ailleurs, encore valable en admettant que tous les coefficients d'induction varient pourvu que le rapport $\frac{L_2}{L_1}$ reste constant.

En se basant sur la formule (15) et en remarquant qu'il existe la relation

$$NT = I_0 \frac{1 - \sigma}{\sigma}, \qquad (16)$$

on démontre facilement que la variation totale du coefficient d'induction mutuelle entre la pleine charge et le court-circuit est représentée par le rapport

$$\frac{M_{max}}{M_{min}} = \sqrt{\frac{1 - \sigma}{1 - \sigma_{cc}}} \qquad (17)$$

où σ et σ_{cc} sont les valeurs du coefficient de dispersion totale en pleine charge et en court-circuit.

Appliquons la même relation (15) au régime en court-circuit.

A ce régime de fonctionnement on a

$$ND = NT = \frac{M}{L_1} I_2$$

et de la formule (15) on tire

$$\frac{L_2}{L_1} I_2^2 = ND \times OD.$$

Or on a

$$ND = I_0 \frac{1 - \sigma_{cc}}{\sigma_{cc}} \quad \text{et} \quad OD = \frac{1}{\sigma_{cc}} I_0.$$

Finalement on trouve pour résultat

$$\frac{I_0}{I'_2} = \frac{\sigma_{cc}}{\sqrt{1 - \sigma_{cc}}}. \qquad (18)$$

Cette dernière relation établit l'importance relative du courant à vide par rapport au courant en charge en fonction du coefficient de dispersion totale en court-circuit.

De par la construction même du transformateur comportant un organe mobile, le coefficient de dispersion σ en pleine charge est supérieur à sa valeur normale applicable au transformateur statique. En court-circuit σ_{cc} est notablement supérieur à σ en sorte que le courant à vide déterminé par la formule (18) devient relativement important, faisant prévoir un facteur de puissance assez bas.

La pratique a cependant prouvé qu'un facteur de puissance voisin de 0,9 est réalisable en pleine charge.

Le diagramme montre que le courant primaire OA ne subit pas de variation importante avec la charge, mais son déphasage augmente rapidement lorsque la résistance diminue.

Chaque point de fonctionnement correspond à une résistance de charge proportionnelle à la projection du vecteur OA sur l'axe vertical.

En résumé, le diagramme circulaire de la figure 2 permet de se rendre compte des propriétés particulières de fonctionnement d'un transformateur autorégulateur dans le cas où la régulation du courant s'opère sur toute l'étendue de l'échelle entre la pleine charge et le court-circuit.

En pratique, on peut reserrer les limites de réglage et admettre sans inconvénient des écarts sensibles aux environs du régime de court-circuit.

V. Genkin.

Revues, analyses et informations

Le fonctionnement du redresseur à galène: potentiel critique (1).

1. Introduction. — L'auteur, en recherchant les points sensibles d'un fragment de galène argentifère, par la mesure du courant redressé, a constaté une anomalie dans le comportement du cristal et quelques particularités non encore observées.

Parmi les explications de la théorie des contacts imparfaits, la seule qui conduise à des relations quantitatives est celle de H. Pélabon (2). Cet auteur, en tenant compte de la lenteur du mouvement des électrons dans cette sorte d'atmosphère gazeuse qui sépare les deux conducteurs à contact imparfait et qui se comporte comme un condensateur de capacité $\frac{\alpha S}{4 \pi e}$, fait observer que le courant qui traverse le diélectrique doit être proportionnel à la charge, au champ $\frac{V}{e}$ et à la conductivité C du métal ; ce courant a donc pour intensité

$$i = K \frac{\alpha S C V^2}{4 \pi e^2};$$

par suite en ajoutant le courant de conduction, on a pour les courants engendrés sous une tension constante V

$$i = a C' V^2 + b V, \qquad (1)$$

le parcours du courant s'effectuant entre le conducteur de conductivité C et celui de conductivité C', et

$$i = a C V^2 + b V, \qquad (2)$$

(1) A. Stefanini. *L'Elettricista*, 30 novembre 1929, t. xxxviii, p. 197-209 5600 mots, 1 figure.

(2) H. Pélabon ; Sur la théorie électronique des mauvais contacts. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 25 février 1929, t. clxxxviii, p. 620-622 ; note reproduite dans la *Revue générale de l'Électricité*, 18 mai 1929, t. xxv, p. 767-768.

pour le sens du parcours opposé. Le courant plus intense, dans le cas du contact métal-galène, ira du cristal galène à la pointe sur laquelle il prend contact.

Dans le cas d'une force électromotrice $V + V_0 \cos \omega t$, H. Pélabon trouve pour le courant redressé

$$I_R = \frac{\varepsilon S V_0}{4\pi e^2}\left[\frac{V_0}{2}(C - C') - \frac{2V}{\pi}(C + C')\right]. \qquad (3)$$

Quelques faits observés par M. Stefanini ne sont pas expliqués par le résultat précédent; aussi a-t-il cru devoir faire des expériences complémentaires exposées dans l'article qui nous occupe.

2. Expériences avec force électromotrice constante. — Il est bon d'observer que la formule précédente (3) ne peut servir, car si l'on fait $V_0 = 0$, on trouve $I_R = 0$. L'auteur a cherché à vérifier les formules (1) et (2).

La formule (1) avait été obtenue par Audubert et Mlle Quintin.

Dans ses expériences, l'auteur a utilisé comme source de courant des piles sèches pour lampes de poche.

Il a constaté que le fonctionnement de la galène n'est pas le même en tous les points du cristal et n'est pas représenté par les formules (1) et (2); certaines anomalies sont observées en des cas caractérisés par le cycle de valeurs des forces électromotrices étudiées.

3. Expériences avec forces électromotrices alternées. — Examinons d'abord le cas où, dans la formule (3), la tension V est nulle. La formule (3) devient alors

$$I_R = k\,\frac{V_0^2}{2}(C - C')$$

et coïncide avec les formules (1) et (2) dans lesquelles on ferait $b = 0$.

On devrait donc avoir, si C et C' ne changent pas, un courant de même sens; or, les expériences montrent que le courant s'annule quand V_0 varie de 2 à 7,5 volts, exactement au passage de 7 à 7,5 v dans l'une des expériences.

En reprenant avec le même point de contact la série des mesures, mais en dépassant la force électromotrice correspondant au courant nul, le fonctionnement est tout à fait anormal pour une valeur supérieure à 7,5 v.

On constate en effet que, pour tous les points explorés, il existe une force électromotrice (potentiel critique) pour laquelle le courant est nul et au delà de laquelle il se produit une profonde altération de la galène.

D'autre part, si l'on a appliqué des forces électromotrices supérieures au potentiel critique, l'application ultérieure de forces électromotrices, même de faibles valeurs, ne fournit plus les mêmes valeurs primitives du courant, si l'on ne laisse pas la galène se reposer longuement (un repos de 25 minutes a été constaté insuffisant).

Enfin, la valeur du potentiel critique lui-même subit un changement temporaire après que l'on a appliqué des forces électromotrices supérieures à la valeur critique déjà constatée.

4. Étude de la formule complète de I_r. — L'étude de la formule (3) peut se faire de deux manières : soit en appliquant une tension V constante et en faisant varier V_0, ou, au contraire, en maintenant V_0 constant, ou enfin, en faisant varier V.

La figure 1 indique le montage du dispositif adopté. P est le potentiomètre sur lequel on recueille une fraction de la tension du réseau d'alimentation; B, une petite batterie de piles sèches; I, un inverseur par lequel on peut faire passer le courant dans le cristal G dans les deux sens; le commutateur C permet de faire passer dans la galène

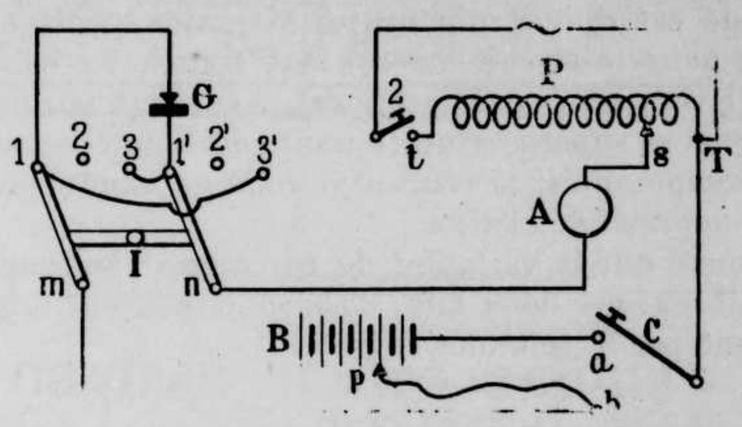


Fig. 1. — Schéma de montage du dispositif d'étude.

soit le courant alternatif seul, soit le courant continu, soit les deux courants. Pour faire varier le potentiel constant V de la batterie B on se sert du contact mobile p.

5. Résultats obtenus. — L'augmentation que l'on obtient dans le courant redressé quand, en même temps que la tension alternative, on fait agir la tension constante, avait été signalée par Palmer (cité par Jackson, dans « The philosophical Magazine » mai 1925) et est prévue par Pélabon conformément à la formule (3).

Mais l'addition des résultats partiels obtenus en faisant agir V seul, puis V_0, puis les deux à la fois dans des sens différents que l'on peut prévoir d'après cette formule n'est pas vérifié constamment, ainsi que le montrent les chiffres donnés par l'auteur.

En ce qui concerne les points insensibles, le passage de courants dus à des forces électromotrices alternatives, même faibles, provoque toujours une diminution de résistance au passage des courants continus. Si l'on applique uniquement des forces électromotrices alternatives et si l'on fait croître celles-ci, on obtient une augmentation de courant, mais celui-ci change bientôt de direction et le courant redressé va de la pointe à la galène.

6. Conclusions. — Pour les forces électromotrices utilisées, les formules de Pélabon ne se prêtent pas à la représentation des résultats expérimentaux. Elles ne prévoient pas l'existence du potentiel critique, ni les phénomènes d'hystérésis observés par Stefanini, ni ceux étudiés par Kellmeyer au moyen d'un dispositif très compliqué.

Il pourrait se faire que ces formules soient valables pour des courants très faibles, comme ceux qui se présentent en radiotéléphonie; l'auteur ne disposant pas d'un galvanomètre à miroir n'a pu étendre ses recherches à de tels courants.

Néanmoins il était intéressant d'exposer la manière dont se comporte la galène pour des forces électromotrices un peu élevées, d'autant plus que les points peu sensibles du cristal pour ces forces électromotrices le sont aussi dans le cas des réceptions radiophoniques. — S. A.

Propriétés des diélectriques [1].

1. Introduction. — Il existe une relation étroite entre les effets anormaux observés dans les diélectriques soumis à une tension continue et les pertes dans ces diélectriques quand ils sont soumis à une tension alternative. La mesure du courant anormal de charge permet la prédétermination

[1] R.-R. Benedict. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mars 1930, t. xlix p. 221-224, 2000 mots, 5 figures, 1 tableau.

de ces pertes ainsi que leurs variations et celles de la capacité avec la fréquence. Le courant de charge dit « anormal » est défini comme suit : quand un condensateur à diélectrique solide est relié à une source à tension constante il se produit dans le circuit un courant transitoire tendant rapidement vers zéro ; ce courant est le courant normal de charge auquel se superpose un courant additionnel constitué par deux composantes, le courant normal de conduction et le courant anormal de charge.

On a trouvé que la variation de ce courant anormal de charge était régi par deux lois ; d'abord, ce courant i_a peut-être exprimé par la relations suivante

$$i_a = E C_0 \Phi (t), \qquad (1)$$

relation dans laquelle E est la tension fixe d'alimentation ; C_0, la capacité géométrique du condensateur ; $\Phi (t)$, une fonction du temps exprimant les variations du courant i_a.

De plus, si la tension appliquée est elle-même une fonction du temps, le courant i_a, à un instant donné τ, est alors

$$i_a = C_0 \int_{\infty}^{\tau} \frac{dE}{d\tau} \Phi (t - \tau)\, dt, \qquad (2)$$

où Φ est la même fonction que dans la relation (1). Beaucoup d'expérimentateurs ont trouvé que cette fonction pouvait être empiriquement représentée par

$$\Phi (t) = \beta t^{-n}, \qquad (3)$$

ou β et n sont des constantes dépendant de la nature du diélectrique et à déterminer expérimentalement. En prenant alors pour E une fonction sinusoïdale du temps, l'équation (2) rend possible le calcul des pertes sous l'effet de cette tension alternative.

2. Méthodes expérimentales et résultats d'essais. — La figure 1 représente le montage utilisé pour la détermination du courant anormal de charge. Les coupe-circuit S_2 et S_3

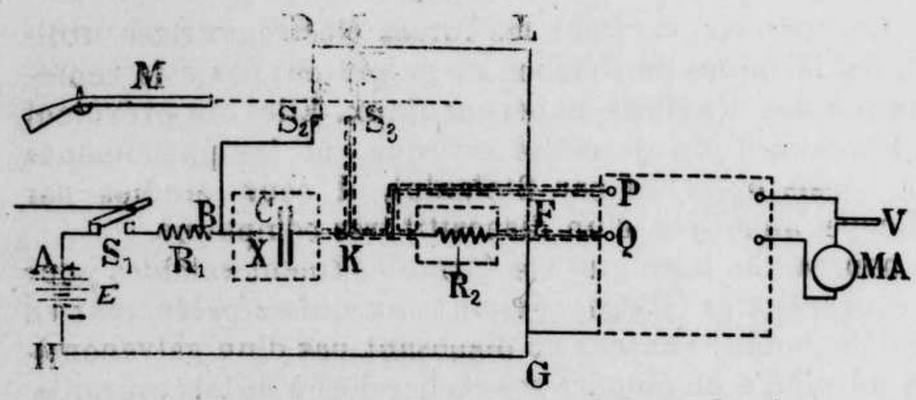


Fig. 1. — Schéma de montage pour la mesure du courant anormal de charge : MA, milliampèremètre ; V, élément oscillographique.

constitués par deux lamelles de bronze sont d'abord fermés et l'interrupteur S_1 est ouvert. On ferme celui-ci et le courant s'établit dans le circuit A S_1 B D L F G H A. Au bout d'une microseconde le courant est devenu pratiquement constant. A ce moment, un relais qui avait été mis sous tension à la fermeture de S_1 déclenche la gâchette d'un pistolet M. La balle ouvre d'abord le shunt B S_2 D et le condensateur en essai, C, se charge. Après 0,08 milliseconde le courant normal de charge est plus petit que 10^{-10} A et la balle frappe S_3 à son tour portant à travers la résistance R_2, aux bornes PQ, une différence de potentiel proportionnelle à la somme du courant anormal de charge et du courant de fuites du condensateur. Après quelques instants seul ce dernier est enregistré par l'oscillographe et le courant anormal de charge s'obtient par différence.

Le tableau I résume les résultats obtenus pour les constantes β et n d'après les essais effectués à 4 000 p : s par la méthode décrite ci-dessus pour différents diélectriques et d'après les relations (1), (2) et (3). — M. R.

Tableau I. — *Résultats obtenus pour les constantes de la relation (3).*

Diélectrique	Température (degrés centésimaux)	Constantes du courant de charge anormal : β	n	C_0 µmf	Constantes diélectriques
Verre aggluti né à la soude.	30	0,113	0,75	0,789	7,15
	40	0,211	0,70	0,800	7,25
	50	0,317	0,67	0,810	7,35
	60	0,396	0,69	0,804	7,29
	70	0,531	0,69	0,806	7,31
Toile vernie....	30	0,165	0,75	0,448	3,82
	40	0,367	0,69	0,464	3,96
	50	0,456	0,69	0,475	4,05
	60	0,486	0,73	0,471	4,02
	70	0,588	0,74	0,471	4,02
Papier paraffiné	30	0,00765	0,92	1,510	3,6
Mica.....	30	0,0255	0,63	0,945	6,3

Résistance aux contraintes dynamiques des organes soudés électriquement (1).

Le manque d'informations sur la fatigue des pièces soudées à l'arc et soumises à des contraintes dynamiques avait jusqu'ici limité l'emploi de ces pièces travaillant dans de telles conditions, par exemple dans le cas où il existe une tension ou une compression fixe à laquelle se superpose dans le même sens un effort variable de faible amplitude.

On peut admettre, entre ces deux efforts, la relation suivante

$$\frac{S_v}{S_e} + \frac{S_s}{S_y} = \frac{1}{n}$$

S_s étant l'effort fixe, S_v l'effort variable S_e, la limite d'élasticité, S_y, la tension de rupture et n, un facteur de sécurité pouvant être pris égal à 3. L'auteur discute cette relation dans quelques cas et donne des exemples d'application de la soudure à l'arc aux pièces de machines électriques (croisillons et culasses de rotor, bâtis, plaques de base, etc.). Il indique ensuite les meilleurs arrangements des surfaces à souder afin de réduire au minimum les contraintes initiales dues à un préchauffage ou à un refroidissement inégal. Il décrit enfin une méthode permettant de déterminer ces contraintes résiduelles et de juger par conséquent de la qualité de la soudure. — M. R.

(1) Morris Stone et J.-G. Ritter *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mars 1930, t. xlix, p. 201-205, 2 000 mots, 8 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Le guidage par câble et le guidage sans câble des navires et des avions

Les procédés de guidage par câble ou sans câble des navires et des avions qui font l'objet de cet article utilisent le champ magnétique créé autour du circuit auquel appartient le câble ou rayonné par le système émetteur, dans le cas où le câble est supprimé. L'auteur expose d'abord le principe du guidage par câble des navires et précise les conditions de sa réalisation suivant les procédés imaginés par M. W.-A. Loth et ses collaborateurs, procédés qui permettent notamment de créer autour du câble de guidage un champ circulaire. Ces mêmes procédés s'appliquent au guidage des avions, avec des modifications de détails mentionnées au cours de l'article; mais, sauf dans des cas exceptionnels et bien définis, ce mode de guidage des avions semble devoir être supplanté par le guidage sans câble qui présente de nombreux avantages. Après une étude théorique du mode de réalisation de la route à l'aide de deux phares, l'auteur examine les propriétés des diverses catégories d'ondes, lumineuses, infrarouges, sonores et hertziennes et donne une description des dispositifs émetteur et récepteur créés par M. Loth et ses collaborateurs en vue de l'utilisation des ondes de cette dernière catégorie.

I. **La « navigation physique » et les routes aériennes et maritimes.** — 1. Définition de la « navigation physique ». — La navigation est l'art de conduire un mobile d'un point à un autre de la surface du globe dans les conditions les plus satisfaisantes, soit, par la route la meilleure. Sur terre ces routes sont tracées et bien déterminées dans la majorité des cas : routes et chemins pour voitures et piétons, voies ferrées pour chemins de fer, fleuves et canaux pour péniches, pistes en montagnes et dans les déserts, etc. Leur tracé a été déterminé pour offrir le maximum de confort et de sécurité: en particulier elles évitent les endroits dangereux et difficultueux.

Sur mer et dans les airs ces routes n'existent pas, faute de moyen de les tracer et de les rendre perceptibles aux navigateurs, sauf quelques balisages sur de petits parcours. Jusqu'à ces dernières années on ne pouvait pas penser tracer aux navigateurs une route sur mer ou dans les airs ; la technique ne le permettait pas. Aussi la navigation actuelle ne tient aucunement compte de l'idée de routes optima. Elle se fait, soit en se servant de repères (navigation au voisinage des côtes, navigation aérienne sur de courtes distances), soit au jugé, en utilisant les indications de la boussole et du loch, soit par l'examen des astres. En réalité toutes ces méthodes ne font qu'indiquer la position de l'observateur à un instant donné et de ces indications il doit déduire sa route après repérage sur une carte. Cette route, déterminée par le navigateur lui-même en partant de sa position qu'il ne connaît qu'approximativement, ignorant ce qu'il a devant lui, tels que des obstacles mobiles, comme les tempêtes, le brouillard, les dépressions, etc., n'est pas forcément la route la meilleure. D'autre part, le navigateur n'a pas toujours les moyens de « faire son point » ; le brouillard, le ciel couvert, la nuit obscure sont des éléments qui interviennent pour le gêner dans cette opération. C'est ce qui explique que malgré le degré de perfection auquel ont été portées les méthodes de navigation dont nous venons de parler, la navigation demeure incertaine et dangereuse.

La « navigation physique » est au contraire l'ensemble des procédés permettant de créer des routes sur mer et dans les airs à l'aide de toutes les possibilités qu'offrent les dernières conquêtes de la physique. Ces routes étant réalisées, elle comprendra, de plus, tous les moyens d'augmenter la sécurité.

On présume que, de toutes les branches de la physique mises à contribution pour les réalisations de la navigation physique, c'est l'électricité et, plus particulièrement, la radioélectricité qui ont eu le plus d'applications. C'est la description succincte de ces applications qui fait l'objet du présent article.

2. Exposé du problème. — Avant d'entreprendre les descriptions il est bon de préciser les éléments du problème posé, c'est-à-dire les conditions auxquelles doivent être soumises les routes maritimes ou aériennes. Ces routes doivent :

1° pouvoir être de forme quelconque ; en particulier, elles doivent pouvoir être modifiées dans de nombreux cas pour qu'il soit possible de tenir compte, dans le tracé de la route optimum, des conditions météorologiques ;

2° être définies de telle façon que l'on sache si l'on est sur la route et, dans le cas où l'on en est écarté, de quel côté et à quelle distance on s'en trouve ;

3° donner le cap à suivre à chaque instant et, dans le cas des avions, la hauteur de vol optimum ;

4° être définies avec toute la précision imposée par les circonstances locales et quelles que soient les conditions météorologiques du moment.

II. Le guidage par câble des navires. — A. Généralités. — Il paraît inutile de faire l'historique du câble de guidage ; cette question a d'ailleurs déjà été traitée dans ces colonnes (1). Il suffit de rappeler que, malgré les efforts de nombreux expérimentateurs, dès le siècle dernier, le problème du guidage des navires à l'aide d'un câble immergé parcouru par un courant alternatif de fréquence audible ne reçut de solution satisfaisante qu'à la fin de la guerre, en Allemagne, en Angleterre et, plus spécialement, en France où M. Loth s'est attaché depuis de longues années à cette recherche.

Le défaut de résultats pratiques était dû principalement à la méconnaissance du champ magnétique autour du câble et aussi, jusqu'à la guerre, à l'absence d'un procédé d'amplification des courants induits dans les appareils récepteurs.

CHAMP MAGNÉTIQUE AUTOUR DU CABLE DE GUIDAGE. — 1° *Distribution des lignes de force.* — Toutes les installations conçues étaient du modèle suivant : un câble C est élongé au fond d'un chenal, une extrémité étant reliée à une borne d'un groupe générateur de courant à fréquence musicale (de 400 à 1 500 p : s), l'autre extrémité du câble et l'autre borne de l'alternateur étant mises en contact avec le milieu conducteur environnant, c'est-à dire la mer (fig. 1).

Le champ magnétique autour du câble, dont l'observation à l'aide d'un appareillage de réception approprié permet le guidage, n'a nullement une forme circulaire, comme le pensaient les premiers expérimentateurs. En effet, le champ magnétique en chaque point est la résultante : 1° du champ propre du câble qui est orthogonal à l'élément du câble voisin ; 2° de l'intégrale des champs des courants de retour élémentaires qui s'épanouissent autour du câble suivant une loi difficile à déterminer ; 3° de l'intégrale des champs des courants induits dans la masse conductrice.

Le problème de la détermination des lignes de force par le calcul, même dans le cas très simple d'un câble rectiligne perpendiculaire à une côte rectiligne indéfinie, la mer étant supposée de profondeur constante et le courant très lentement variable, est d'une grande difficulté. Nous croyons inutile de l'exposer ici.

De très nombreuses expériences ont été faites d'ailleurs pour déterminer la forme des lignes de force dans les différents cas pratiques. Les résultats sont les suivants :

1° Dans le voisinage immédiat du câble les lignes de force sont à peu près des cercles ayant le câble pour centre ;

2° Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du câble les lignes de force s'écartent de plus en plus de la forme circulaire et deviennent pyriformes, la pointe étant

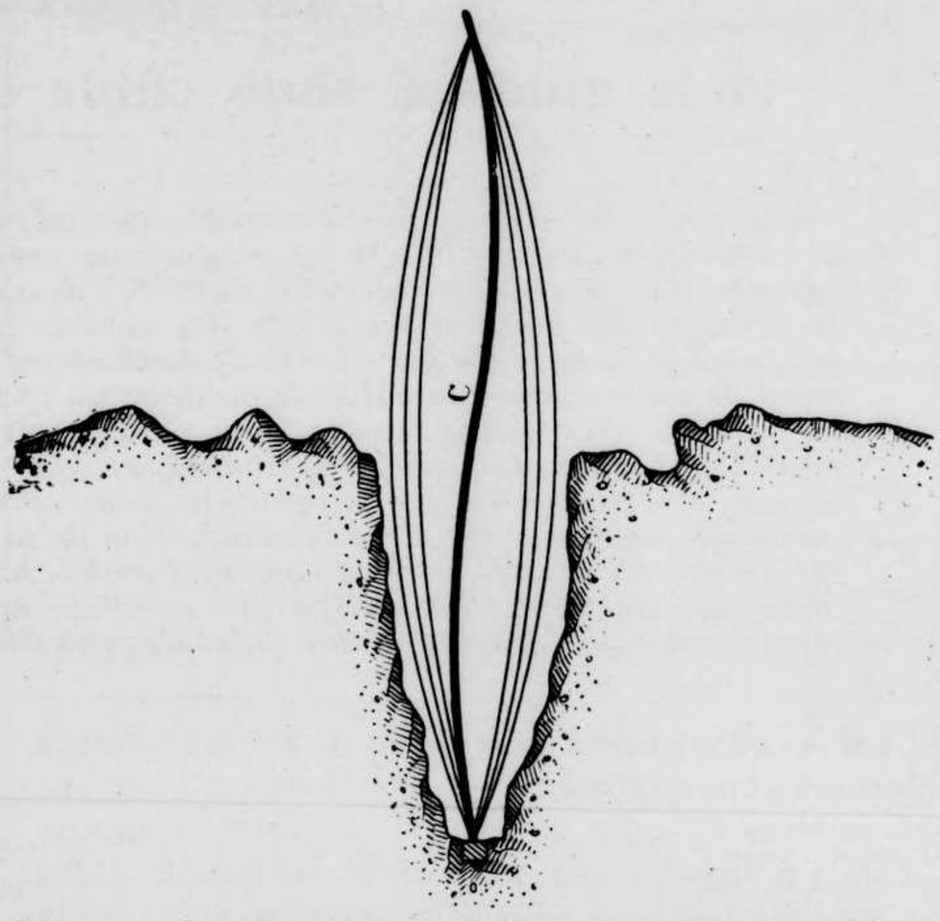


Fig. 1. — Schéma de la disposition du câble de guidage des navires élongé dans un chenal.

dirigée vers le bas et les lignes s'évasant vers le haut. Ceci est dû au fait que l'influence des courants de retour, qui est de sens contraire à celle du courant dans le câble, varie peu quand on se déplace latéralement au câble alors que le champ dû au courant dans ce dernier varie en raison inverse de la distance ;

3° A une certaine distance l'action des courants dans l'eau devient prépondérante et il y a renversement des lignes de force. Les lignes de force, qui jusque-là tournaient leur concavité vers le câble, lui montrent leur partie convexe.

Les lignes de force présentent dans leur ensemble l'aspect d'une famille de doubles lemniscates dont les points doubles seraient au-dessous du câble (fig. 2).

2° *Difficultés inhérentes à l'observation du champ magnétique autour d'un câble de guidage.* — Naturellement si le champ est relevé dans un endroit où les courants de retour n'ont pas leur axe de symétrie confondu avec le câble, les lignes de force présentent une dyssymétrie qui peut être très importante et fausser complètement la méthode du guidage. La seule indication qui reste valable dans tous les cas est le passage au-dessus du câble. Le champ dans la verticale passant par le câble à faible hauteur au-dessus de ce dernier (50 à 100 m) est toujours horizontal. Un observateur écoutant sur cadre horizontal percevra donc un

(1) R.-H. MARRIOTT ; Méthode de signalisation électrique pour diriger les navires. *Revue générale de l'Electricité*, 24 janvier 1920, t. VII, p. 127-129.

A. CROSSLEY ; Pilotage des navires au moyen de câbles dans lesquels on fait circuler des courants alternatifs de fréquence acoustique. *Revue générale de l'Electricité*, 7 mai 1921, t. IX, p. 645-655.

W.-A. LOTH ; Sur le pilotage électromagnétique des navires. *Revue générale de l'Electricité*, 18 juin 1921, t. IX, p. 899-903.

minimum de réception très net lorsqu'il passera d'un côté à l'autre du câble. La précision de l'observation est très grande, soit de l'ordre du dixième de la hauteur du cadre au-dessus du câble (moins de 5 m d'incertitude pour 50 m de profondeur).

Des installations basées sur ce principe ont cependant été réalisées avec succès, en Allemagne, pour l'entrée

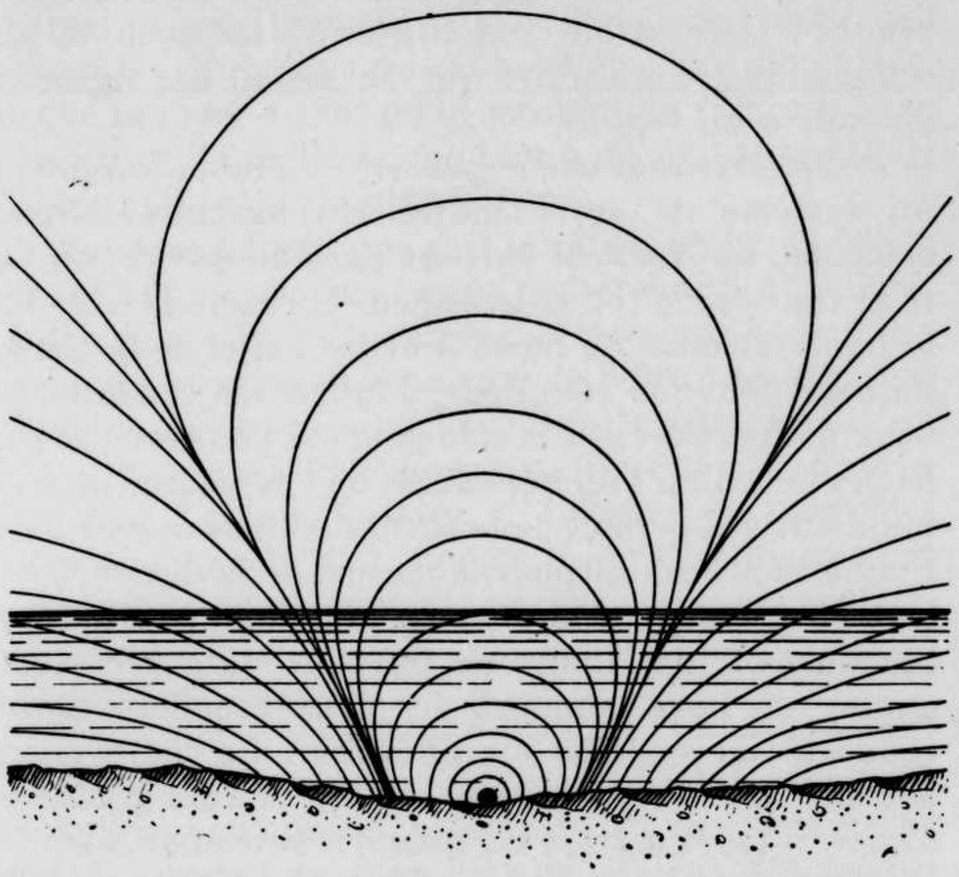


Fig. 2. — Lignes de force du champ résultant du courant dans un câble de guidage et du courant de retour; ces lignes de force ont la forme d'une double lemniscate.

des sous-marins dans un de leur port de guerre, en France pour l'entrée du port de Brest, justement parce que dans ces deux cas l'axe du chenal était une ligne de symétrie pour le champ.

Trois difficultés se présentaient encore :

1° Incertitude du côté où l'on se trouvait par rapport au câble ;

2° Difficulté de trouver l'extrémité du câble, le champ magnétique s'affaiblissant très vite dans le prolongement du câble ;

3° Elimination de l'effet de coque (la carène métallique du navire portant le récepteur jouant le rôle d'écran magnétique).

La première difficulté était résolue avec des cadres latéraux convenablement inclinés sur l'horizontale, la différence d'intensité entre la réception des deux cadres inégalement influencés par la coque permettant de discriminer le côté. Pour le second point, on installait à l'extrémité du câble un signal sous-marin par ondes sonores, assez puissant pour être perçu à plusieurs kilomètres. Enfin l'effet de coque était utilisé, dans la recherche du côté, par la méthode des cadres latéraux.

Plus récemment, M. Loth et ses collaborateurs ont mis au point une méthode pour la connaissance du côté par observation de la phase du courant induit dans un cadre récepteur par rapport à la phase des courants de retour captés au moyen d'électrodes longitudinales.

Cette méthode est d'ailleurs analogue à la levée de l'incertitude de 180° en radiogoniométrie.

Enfin, lors d'une installation réalisée, en juillet 1928, dans le port de La Corogne pour le compte du Gouvernement espagnol, M. Loth eut l'idée d'un perfectionnement fondamental que nous allons maintenant examiner.

B. Câble de guidage à « champ circulaire ». — 1. Principe. — Un câble de guidage, alimenté comme il vient d'être expliqué, ne permet pas toujours le guidage. Nous avons vu en effet que les courants de retour ont une influence prépondérante sur la forme du champ magnétique émis. Comme il est indispensable que ce champ ait la même forme tout le long du câble (pour avoir une méthode uniforme de guidage), on se rend compte aisément que, si les lignes de courant de retour n'ont pas un axe de symétrie confondu avec le câble, il sera difficile, même impossible, de guider un navire dans de bonnes conditions.

Le vrai problème du guidage par câble consiste à trouver d'après les indications mentionnées plus haut :

1° le moyen de créer un champ magnétique aussi simple que possible et qui soit le même sur toute la longueur du câble ;

2° le moyen de permettre à un navire de situer facilement l'extrémité du câble.

Ces deux conditions sont remplies par l'installation représentée schématiquement en figure 3 qui comprend, en plus du câble de guidage, deux lignes terrestres

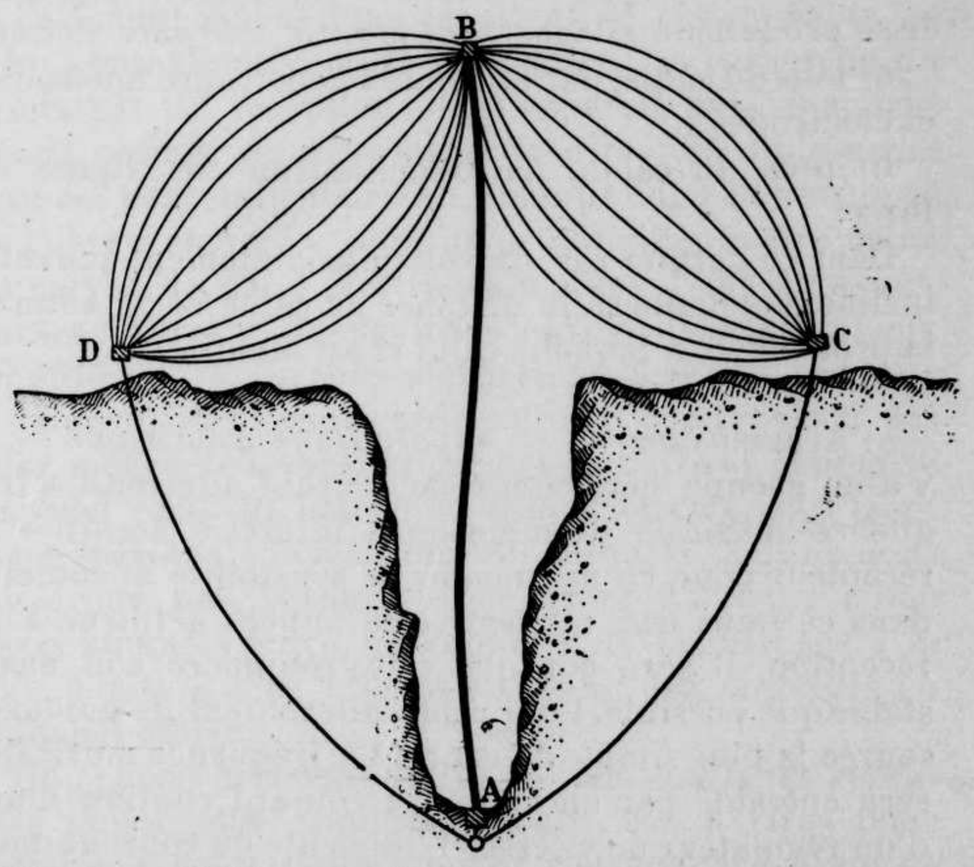


Fig. 3. — Schéma de la disposition proposée et adoptée par M. Loth pour que le champ magnétique, autour du câble de guidage, soit circulaire.

dites « lignes garde-côte » et qui servent de lignes de retour au courant.

On forme ainsi deux circuits A B C A et A B D A alimentés successivement, le premier, la durée d'un trait, le second, la durée d'un point. Les lignes de courant

dans l'eau vont s'épanouir entre B et C et entre B et D, comme nous le verrons plus loin au sujet des « lignes garde-côte », et créer deux grandes zones de traits à droite et de points à gauche du prolongement du câble suivant lequel ces traits et ces points se combineront pour former un trait continu. Il y a donc ainsi formation d'un véritable entonnoir qui aboutit à la plaque terminale B du câble. Si nous considérons maintenant le champ rayonné par le câble, on voit que, sauf vers l'extrémité B, où les lignes de courant feront sentir leur influence, le champ sera celui d'un câble infini, donc circulaire, d'où le nom de « câble à champ circulaire ». C'est évidemment la forme la plus simple et elle sera bien la même tout le long du câble. Les deux conditions imposées ont été du même coup remplies. En réalité le champ n'est pas absolument circulaire. Il est en effet la résultante du champ rayonné directement par le câble et du champ résultant des courants induits dans l'eau. Ces derniers ont pour effet de créer encore une légère inversion et le champ qui est parfaitement défini et semble absolument circulaire dans les émissions du câble devient flou (suivant la direction verticale) et s'infléchit quand on s'en éloigne. Suivant la direction horizontale la résultante est toujours orthogonale au câble. Nous en déduisons immédiatement la méthode de guidage.

La direction du câble est perpendiculaire à la projection horizontale du champ. Cette dernière est obtenue au moyen d'un cadre vertical orientable.

Le passage au-dessus du câble est donné, comme nous l'avons vu, par l'écoute sur un cadre horizontal. Il se produit un silence brusque. Le côté sera donné :

a) loin du câble, par la combinaison cadre horizontal et électrodes ;

b) près du câble, par l'inclinaison des lignes de force.

Dans ce dernier cas, on voit immédiatement que cette inclinaison donnera la distance au câble si on connaît la profondeur à laquelle celui-ci est mouillé.

2. Appareillage. — 1° *Appareillage d'émission.* — Il y a un groupe générateur de courant alternatif à fréquence musicale. Comme on a intérêt à accorder le récepteur pour en augmenter la sensibilité et comme, dans certains cas, on peut être appelé à filtrer à la réception, il sera bon que cette fréquence soit aussi stable que possible. Pour cela, l'alternateur de guidage, source la plus simple de courant à fréquence musicale, sera entraîné par un moteur à courant continu muni d'un régulateur de vitesse. L'intensité du courant dans le circuit formé par le câble et la ligne garde-côte devra être de 5 à 20 ampères suivant la portée désirée et la profondeur à laquelle le câble sera mouillé.

De plus, deux transformateurs sont prévus dont les enroulements primaires sont mis successivement en circuit avec l'alternateur par le contacteur tournant, et dont les secondaires sont en circuit avec une des lignes garde-côte et le câble, cette disposition réalisant la coupure sur les tensions les moins élevées.

Un contacteur tournant réalise la manipulation, point et trait, des lignes garde-côte.

Le câble sous-marin est armé, muni, à une extrémité, d'une large électrode constituée par une feuille de cuivre d'un mètre carré ; et enfin les deux lignes garde-côte sont accordées, comportant chacune à leur extrémité une électrode ; ces lignes ayant uniquement pour but de fermer les circuits peuvent avoir un tracé quelconque ; elles seront constituées de la façon la plus économique, c'est-à-dire que ce seront des lignes sur poteaux à un seul fil.

2° *Appareillage de réception.* — Celui-ci comprend : un système de trois cadres orthogonaux formant octaèdre, un vertical suivant l'axe du navire, un vertical transversal et le troisième horizontal, fixé dans le haut des mâts de façon à éviter l'effet de la coque ; un répétiteur, ou récepteur, d'induction constitué par deux petits cadres fixes orthogonaux pouvant être connectés chacun à l'un des cadres de l'octaèdre ; un commutateur qui permet de brancher soit les cadres longitudinal et horizontal pour la mesure de la direction, soit les cadres transversal et horizontal pour la mesure de l'inclinaison des lignes de force et un cadre mobile autour de l'axe commun des deux premiers cadres, connecté au système amplificateur. Le cadre mobile entraîne un index tournant sur un cadran gradué en degrés ; l'index est calé à 0° quand le bateau est parallèle au câble, c'est-à-dire quand le cadre transversal est parallèle aux lignes de force du champ magnétique.

Deux électrodes plongent dans l'eau, une à l'avant, l'autre à l'arrière du bateau ; un commutateur permet de brancher successivement à l'entrée de l'amplificateur soit le rotor du répétiteur d'induction, soit le cadre horizontal et les électrodes en série, soit encore le cadre horizontal et les électrodes en inversant l'un des deux.

Enfin un amplificateur à trois étages et à basse fréquence est suivi d'un ou plusieurs écouteurs téléphoniques.

3. Mode opératoire. — Le guidage le long d'un câble à champ circulaire d'un navire muni de l'appareillage de réception qui vient d'être décrit se fera de la façon suivante :

1° Recherche de l'extrémité du câble pour un bateau venant du large par réception des traits et des points donnés par les lignes de courant dans l'eau ; il faut rechercher la zone de trait continu qui est dans le prolongement du câble et suivant le câble sur une petite distance. On a ainsi, le long du câble, à son extrémité, une zone « d'accrochage » du câble qui peut avoir 500 m à 1 km suivant son importance ;

2° Recherche du côté :

a) Dans la zone « d'accrochage » du câble ou, si l'on s'en trouve trop éloigné accidentellement (inattention de l'opérateur), par la réception avec le cadre horizontal et électrode ;

b) Auprès du câble, par l'inclinaison des lignes de force (avec, s'il y a lieu, confirmation de la méthode a).

L'écoute se fera alors sur le rotor du récepteur d'induction dont les deux stators sont respectivement branchés sur le cadre transversal et sur le cadre horizontal. La position de l'index ou minimum de son donnera l'inclinaison, donc le côté du câble ;

3° Recherche de la direction du câble par écoute sur le rotor, les deux stators étant respectivement branchés sur le cadre longitudinal et sur le cadre transversal ; l'opérateur lira directement avec son signe l'angle que forment les directions du câble et de l'axe du navire, puisque la ligne o-180° de la graduation figurera l'axe du navire et l'aiguille au minimum de son, la parallèle à l'élément de câble le plus voisin ;

4° Pour un bateau qui suit le câble, recherche de la distance approximative par la recherche de l'inclinaison des lignes de force comme au paragraphe b ; cette manœuvre sera possible puisque le bateau se sera, par la manœuvre précédente, affranchi suffisamment du câble et placé parallèlement à sa direction. Cette distance sera h cotg α, h étant la distance de l'octaèdre au-dessus du câble et α, l'angle lu de l'inclinaison sur l'horizontale. Pratiquement, on aura une approximation suffisante en prenant une valeur moyenne de h pour un câble donné.

4. Consommation d'énergie. — Une installation de guidage par câble qui comprend, comme on l'a vu, un matériel simple et courant est d'un prix de revient peu important, la principale dépense étant la fourniture et la pose du câble. L'énergie consommée est faible : ainsi pour le port de Saint-Nazaire, pour lequel l'Etat français va faire une installation sur le compte des prestations en nature, l'alternateur à fréquence musicale assez largement calculé, aura une puissance de 10 kw, le nombre d'heures de brume étant de trois cents à cinq cents d'après les statistiques locales.

C. **Lignes garde-côte.** — Les lignes garde-côte dont nous avons vu l'emploi en combinaison avec un câble de guidage pour réaliser le « champ circulaire », peuvent être employées seules pour signaler la présence des côtes à une distance aussi grande qu'il est nécessaire.

Une telle installation est des plus simples ; elle comprend un alternateur à fréquence musicale entraîné directement par moteur électrique ou thermique, un transformateur alimentant la ligne, une ligne sur poteaux de tracé quelconque, accordée pour la fréquence de l'alternateur afin que son impédance soit aussi réduite que possible et terminée par deux électrodes immergées à une distance convenable de la côte.

L'appareillage de réception est le même que celui décrit pour le guidage par câble.

Le circuit se ferme donc par la mer entre les deux électrodes et les courants s'épanouissent dans la mer ; la densité de courant diminue très lentement quand on s'éloigne de la côte et l'action sur l'appareil récepteur reste la même jusqu'à une assez grande distance. La portée, c'est-à-dire la distance maximum à laquelle on reçoit utilement les indications d'une ligne garde-côte est donnée approximativement par la formule

$$P = \sqrt{\frac{Ia^2}{\left(\frac{\pi}{2} - \text{arc tg}\,\frac{b}{a}\right) 0{,}15} - a^2}$$

dans laquelle P est la portée en kilomètres ; I, l'intensité du courant en ampères ; a, la demi-distance entre les électrodes, en kilomètres ; b, un coefficient tenant compte de la forme de la côte entre les électrodes.

Les courants dans l'eau forment des fuseaux, issus des électrodes, qui sont parallèles à la côte dans le voisinage de celle-ci et s'épanouissent de plus en plus au fur et à mesure que l'on s'écarte de la côte en conservant de plus en plus vaguement la forme de la côte. On sait que ces lignes de courant sont orthogonales aux lignes $V =$ constante satisfaisant à l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$

Ainsi, par exemple, pour une côte rectiligne et lorsque la profondeur est faible et uniforme dans toute la zone considérée les lignes de courant sont constituées par des cercles. La figure 4, qui représente l'installation d'Ouessant et les relevés effectués, montre que cette forme théorique coïncide assez bien avec celle relevée expérimentatement.

Le champ magnétique résultant de ces courants est très approximativement horizontal ; la recherche du minimum de réception sur l'appareil précédemment décrit permet de déterminer la direction du courant (qui est perpendiculaire au champ) dans le voisinage de l'observateur. Le courant peut d'ailleurs être capté au moyen de deux électrodes placées, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière du navire et envoyé directement aux amplificateurs. Un sous-marin en plongée peut recevoir les signaux des lignes garde-côte. La combinaison des deux modes de réception permet en outre de connaître sur quel bord du bateau se trouve la côte. Des montages spéciaux à l'émission, sur lesquels nous ne nous étendrons pas, permettent en outre d'obtenir d'une façon simple l'ordre de grandeur de la distance à la côte, l'indicatif de celle-ci et même des messages en alphabet Morse.

On conçoit aisément que le procédé des lignes garde-côte puisse être appliqué à bord des navires pour entourer ceux-ci d'un champ de courant permettant de signaler leur présence à quelques kilomètres de distance et d'éviter ainsi les collisions. La « garde magnétique » des navires, si elle était généralisée, diminuerait le nombre des collisions de navire (plus de deux mille chaque année dans le monde entier) et empêcherait le retour de catastrophes comme celle du Pluviôse ou de l'Ondine, puisque ce mode de protection est applicable aux sous-marins.

III. **Le guidage par câble des avions.** — 1. Principe. — Les premières recherches de M. William Loth et de ses collaborateurs sur le guidage par câble des aéronefs remontent déjà à une dizaine d'années. Encouragé par les résultats obtenus pour la navigation maritime, M. Loth avait tout de suite pensé à appliquer son invention au guidage des avions et des dirigeables ; des expériences furent faites avec succès à Villacoublay et au centre de Cuers-Pierrefeu. Les installations de guidage par câble étaient réalisées au moyen d'un conduc-

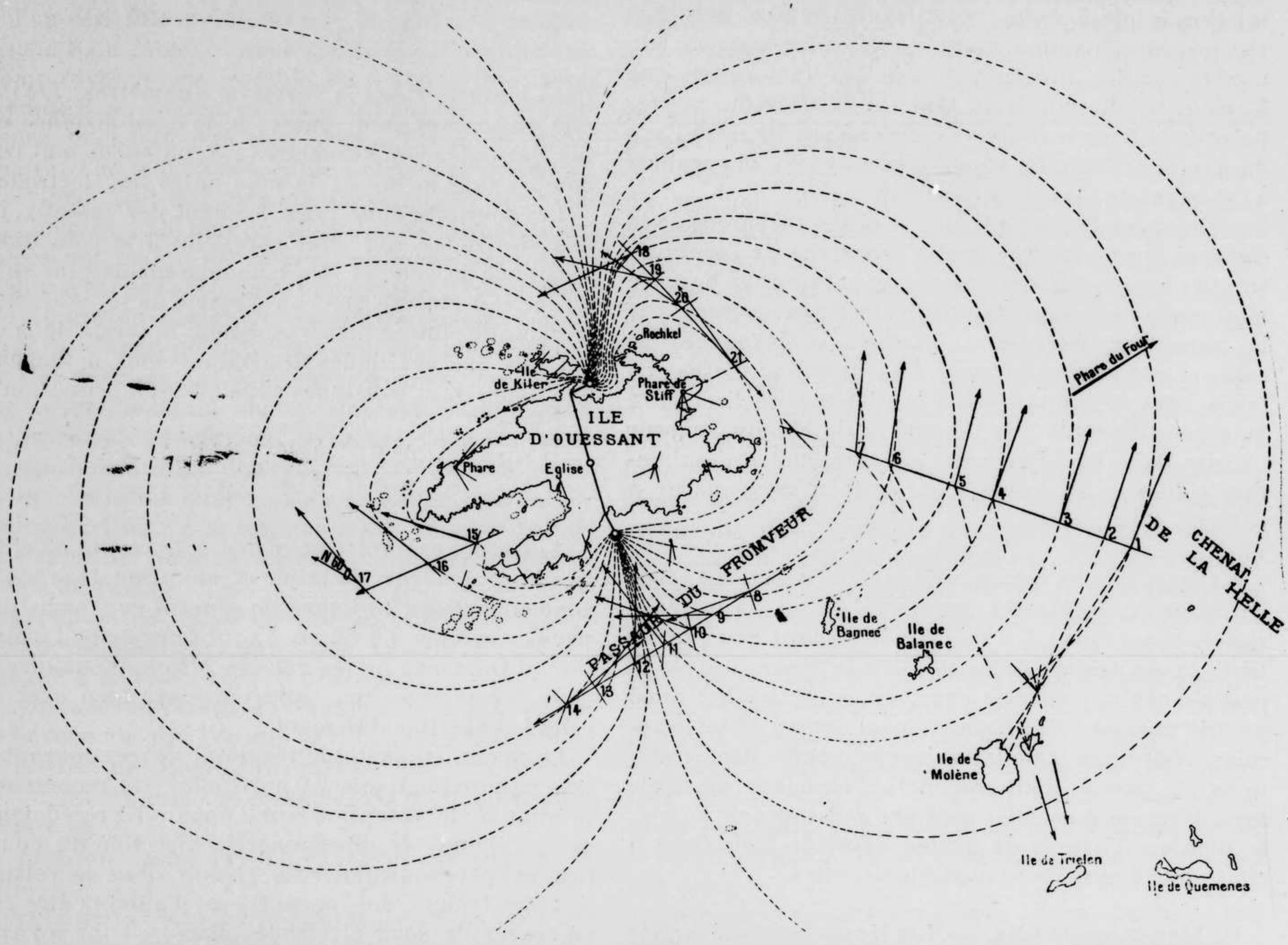


Fig. 4. — Carte de l'île d'Ouessant sur laquelle sont représentées les lignes des courants issus des électrodes aux extrémités de lignes garde-côte.

teur unifilaire sur poteaux mis à la terre à une extrémité, l'autre extrémité étant connectée à un pôle d'une source de courant alternatif de fréquence musicale (alternateur ou transformateur) dont l'autre pôle était lui-même connecté à la terre. Le retour du courant se formait donc par le sol, les lignes de ce courant s'épanouissant en largeur et en profondeur.

Dans ces conditions, le courant circulant dans le circuit ligne et sol créait dans l'espace un champ électromagnétique alternatif dont les lignes de force formaient un réseau cylindrique autour du câble. La forme de ces lignes est due à la composition des champs élémentaires du courant dans la ligne et dans le sol et donne un résultat analogue à celui du câble immergé (fig. 2).

Naturellement, comme pour le câble immergé, la ligne est mise en résonance pour la fréquence utilisée afin de mieux utiliser l'énergie. L'inductance est importante, en général de 2 à 3 millihenrys par kilomètre, soit une réactance de 20 ohms environ, alors que la capacité est très faible ; on accordera donc avec des condensateurs réglables. Une pareille ligne peut être enterrée et sa portée est encore appréciable comme l'ont démontré les expériences de Cuers.

La réception à bord des avions se fait par cadres horizontaux et verticaux ; pour plus de détails nous renvoyons au très intéressant article de MM. Franck et Volmerange, publié dans le journal « L'Aéronautique » de février 1922.

Le guidage par câble tel que nous venons de le décrire, malgré les immenses avantages qu'il offrait à la navigation aérienne, n'a reçu jusqu'à ce jour que des applications restreintes en raison de quelques inconvénients que nous devons signaler :

1° Complexité du champ magnétique dont la forme ne permet pas, dès qu'on s'écarte du câble, de savoir simplement si on est à droite ou à gauche de ce dernier ;

2° Nécessité de faire un certain nombre de manœuvres à la réception pour tirer parti des indications données par la ligne;

3° Portée relativement faible (2 à 6 km);

4° Difficulté d'installer des lignes droites à travers les régions de population un peu dense;

5° Fixité de l'installation.

Tous ces points ont été longuement étudiés, et ces inconvénients n'existent plus dans les dernières applications que nous allons étudier maintenant. (En ce qui concerne les points mentionnés sous 4° et 5° on a substitué aux routes fixes réelles, les routes virtuelles tracées par émissions dirigées).

Soit une ligne sur poteaux alimentée par un courant à fréquence supérieure aux fréquences audibles, voisine de 10000 p : s, et vibrant en antenne. Si le sol est bon conducteur, l'antenne formée par la ligne composera son champ avec celui de son image dans le sol. Le champ n'aura plus la forme complexe qu'il avait auparavant et dérivera de la forme circulaire.

La réception se fera par cadre comme précédemment; la connaissance du côté où l'on se trouve par rapport à la ligne peut être connue en recevant par antenne et cadre ou tout autre procédé similaire, comme il est connu en radiogoniométrie pour lever l'incertitude de 180°.

On sait en effet que la phase du courant induit dans le cadre de réception, supposé horizontal, est différente pour une même alternance suivant que l'on est à droite ou à gauche de la ligne, alors que la phase du courant de l'antenne est la même dans les deux cas. Une commutation du cadre associé à l'antenne permettra donc à la réception de connaître, après repérage fait une fois pour toutes du sens de bobinage du cadre, de savoir si l'on est à droite ou à gauche.

Un perfectionnement important peut d'ailleurs être apporté à l'émission, pour éviter la commutation à la réception. Si, au lieu d'une antenne, l'émission se fait par un cadre, constitué par deux fils parallèles bouclés ensemble, posés sur les mêmes poteaux, il devient possible de faire la commutation à l'émission.

Considérons un cadre constitué comme il est dit ci-dessus, alimenté par un transformateur et inversons le sens des enroulements du primaire par rapport au secondaire pendant la durée d'un trait dans un sens et pendant la durée d'un point dans l'autre sens. La phase du courant induit dans le cadre par rapport au courant dans le générateur sera changée de 180° quand on passera des points aux traits et réciproquement. Si on reçoit par antenne en même temps que par cadre, tout se passe comme s'il n'y avait pas de changement de phase dans l'antenne où le cadre émetteur agit comme une antenne; on aura donc en cadre et antenne, par exemple, des traits forts et des points faibles d'un côté de la ligne et des traits faibles et des points forts de l'autre côté. Partout où l'on recevra par antenne seule, dans les régions où le courant induit dans le cadre récepteur est minimum, on entendra un trait continu verticalement à l'aplomb de la ligne et dans le plan horizontal passant entre les deux fils. La réception à courte distance, étant donné la grande longueur d'onde, devient faible par antenne; on palliera à cet inconvénient en exagérant la dyssymétrie du système cadre et antenne émetteur de façon à obtenir des diagrammes d'énergie comme sur la figure 5; les fils

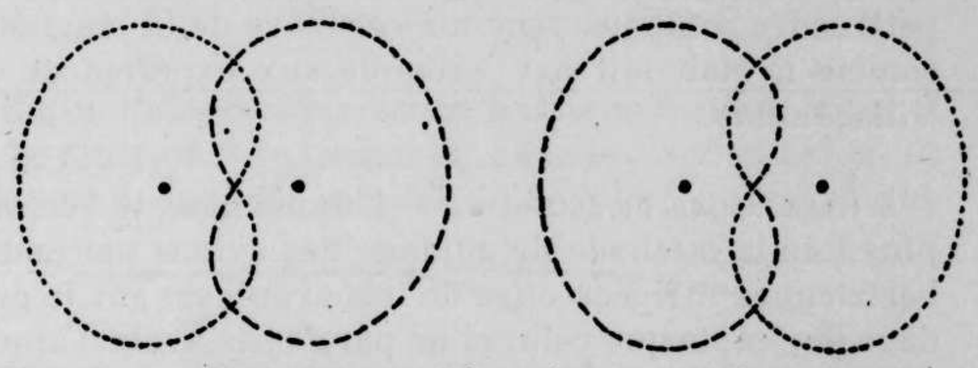


Fig. 5. — Diagrammes d'énergie du système émetteur cadre et antenne.

parallèles sont supposés, dans ce cas, dans le même plan horizontal, ce qui ne change rien à ce qui précède.

2. Appareillage. — On peut concevoir différents modes d'émission avec un ou deux fils. La réception se fera par un appareil tel que celui dont le schéma de montage est donné sur la figure 6. Si le courant est modulé à l'émission, l'hétérodyne représentée devient

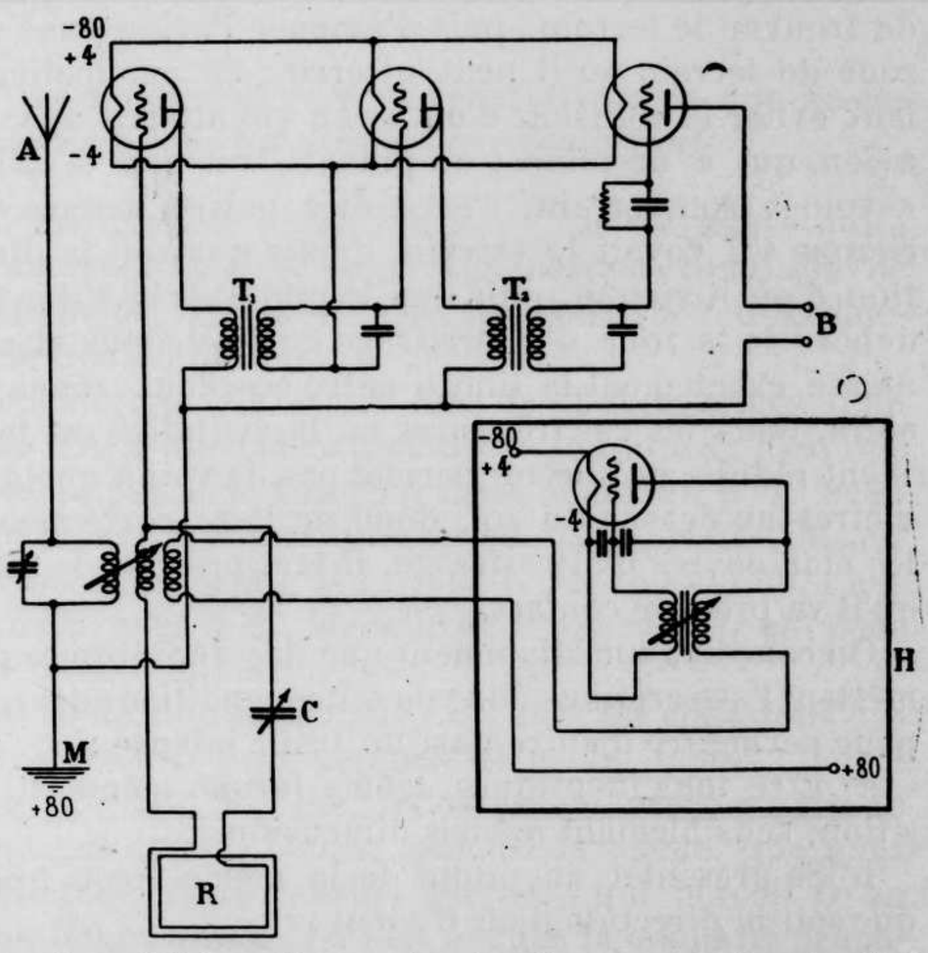


Fig. 6. — Schéma d'un poste récepteur pour avion destiné à son guidage par câble : A, antenne; B, casque ou amplificateur à basse fréquence, suivi ou non de filtreur; C, capacité d'accord pour le cadre; H, hétérodyne à alimentation séparée, en une cage de Faraday; R, cadre récepteur; T_1 et T_2, transformateurs accordés sur la moyenne fréquence.

inutile et l'appareil est simplifié; pour éviter toute réaction l'hétérodyne sera montée en cage de Faraday avec alimentation séparée par pile, par exemple.

Tout autre modèle de réception du même principe pourrait aussi bien convenir ; la seule condition est que l'effet antenne du cadre soit négligeable.

Enfin, l'élimination des parasites (atmosphériques ou bruits de magnéto) se fera à l'aide de l'appareil filtreur de M. Marrec (1) dont l'efficacité est, d'après nous, supérieure à tous les autres procédés d'élimination. Cet appareil supprime dans les montages la nécessité d'un petit cadre compensateur au voisinage de la magnéto, comme il était fait par exemple aux expériences de Villacoublay.

3. Aérodrome de sécurité. — Comme nous le verrons plus loin la méthode de guidage des avions par ondes hertziennes dirigées offre de tels avantages sur le guidage par câble que celui-ci ne paraît pas avoir d'applications en dehors de cas limités. Le seul avantage du câble de guidage pour avions est sa grande précision ; or, en général, elle n'est pas nécessaire, sauf aux extrémités de la route au voisinage des aérodromes, où, au contraire, les manœuvres d'atterrissage sont soumises à des conditions formelles que nous définissons ci-après. C'est donc pour la réalisation d'aérodromes de sécurité que le câble guide trouve sa véritable application dans les conditions que nous allons définir.

Pour assurer l'atterrissage en tous temps et, en particulier, dans le brouillard, il faut donner les moyens de trouver le terrain, puis d'amener l'avion dans une zone de terrain où il peut atterrir ; en particulier, il faut éviter la collision d'un avion qui atterrit avec un avion qui « décolle » ; de plus, il faut que le pilote « voie » son terrain, c'est-à-dire puisse manœuvrer comme s'il voyait le terrain, quelle que soit la direction d'où il vienne ; puis que le pilote sache s'il est en dehors de la zone d'atterrissage ou en dedans et connaisse exactement la limite entre ces deux zones ; et enfin, dans les cas très rares où la visibilité est tellement réduite qu'elle ne permet pas de voir à quelques mètres au-dessus du sol, donc de faire correctement les manœuvres d'atterrissage, il faut prévenir le pilote qu'il va prendre contact.

On conçoit immédiatement que des aérodromes permettant l'atterrissage dans de telles conditions devront, pour permettre d'autre part un trafic intense :

a) Etre tous identiques, même forme, même disposition, sensiblement mêmes dimensions ;

b) Se présenter au pilote de la même façon quelle que soit la direction d'où il vient ;

c) Permettre des atterrissages et des envols simultanés par tous temps (en particulier atterrissage dans le brouillard en vol plané.)

L'examen de ces questions montre que l'aérodrome devra être constitué par un terrain plat, circulaire de grand diamètre, de 2 à 3 km. Il est bien évident également qu'aucune construction ne devra exister sur le terrain. En particulier, les hangars seront souterrains.

(1) Voir ci-après et Yves Marrec ; Système antiparasite Marrec. *L'Onde électrique*, octobre 1927, t. VI, p. 501-508.

En ce qui concerne l'équipement électrique d'un tel aérodrome circulaire, différentes méthodes, qui donnent de bons résultats, ont été essayées. Nous décrirons celle réalisée sur la maquette d'aérodrome du Centre d'Etudes de Vaux-sur-Seine.

Dans cette installation, l'aérodrome circulaire est ceinturé en dehors de ses limites (à une distance qui en réalité pourrait être de 500 m par exemple) par une ligne à deux fils formant un cadre circulaire vertical. Les fils sont bouclés pour ne former qu'un seul circuit. Ce circuit est alimenté par un générateur de courant alternatif à fréquence assez élevée pour rayonner un champ électrique et assez basse pour satisfaire à de bonnes conditions de propagation, soit de l'ordre de 10 000 p : s. Le champ magnétique rayonné est représenté sur la figure 7.

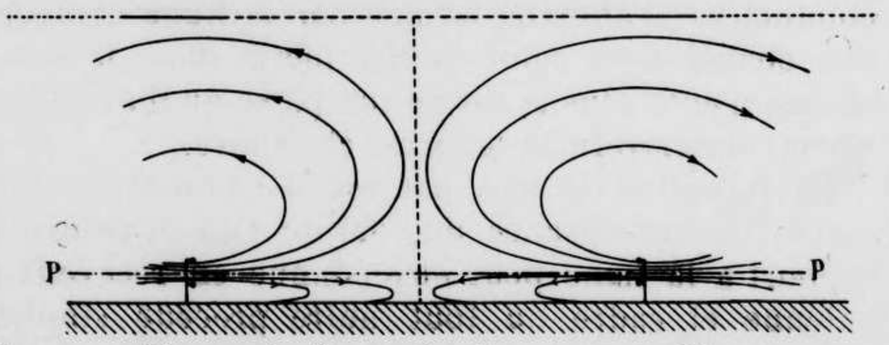


Fig. 7. — Lignes de force du champ magnétique rayonné par l'installation réalisée sur la maquette d'aérodrome du Centre d'Etudes de Vaux-sur-Seine.

L'écoute se fait sur cadre ou sur un système antenne et cadre.

1° *Ecoute sur cadre.* — Supposons l'écoute effectuée sur un cadre vertical orientable. En tournant le cadre on observe un silence quand le cadre n'est traversé par aucune ligne de force du champ magnétique, donc quand le plan du cadre passe par le centre de l'aérodrome. Le pilote peut donc connaître la direction du centre de l'aérodrome et se diriger vers lui.

Mais, pour éviter les collisions, l'aérodrome est divisé en huit secteurs alternés d'arrivée et de départ. Ces secteurs sont reproduits sur la rose des vents du compas de bord avec la même orientation (fixe dans l'espace). Donc, en prenant la direction, le pilote sait dans quel secteur il se trouve, autorisé ou interdit ; il peut changer de secteur et trouver celui dans lequel il doit atterrir. Bien entendu ces secteurs existent avec la même orientation sur tous les aérodromes.

2° *Ecoute sur cadre antenne.* — Pour savoir si l'avion est à l'extérieur ou à l'intérieur on utilise un procédé de réception avec un système cadre antenne analogue à celui employé en radiogoniométrie pour lever l'incertitude de 180°. Au lieu d'inverser le cadre récepteur, on inverse automatiquement à l'émission. Dans ces conditions, sans manœuvre à la réception, on entend des points à l'extérieur de l'aérodrome, des traits à l'intérieur et une réception continue en passant au-dessus de la ligne.

D'autre part, étant donné la disposition géométrique des fils émetteurs, on a une réception continue quand l'avion (représenté par son cadre récepteur) passe par

le plan pp' (nappe de hauteur) et des points au-dessous de ce plan (fig. 7).

Par conséquent, dans la zone de portée de l'installation, zone qui peut atteindre 20 km suivant la puissance émise, le pilote connaît exactement sa position par rapport à l'aérodrome. Il a la direction du centre et sait avec sa boussole vers quel endroit il se dirige. Il sait qu'il est à l'extérieur, à la limite ou à l'intérieur de l'aérodrome. Quand il atterrit, la réception lui signale qu'il se rapproche du terrain, qu'il en est à quelques mètres, puis qu'il va prendre contact.

La question si délicate de la navigation aérienne qui consiste à trouver l'aérodrome et à assurer l'atterrissage sans visibilité paraît ainsi complètement et heureusement résolue.

IV. **Le guidage sans câble. — A. Principe.** — L'emploi du champ magnétique produit par des circuits électriques nous permet donc de piloter l'avion en toute sécurité quelle que soit la visibilité dans les voisinages des aérodromes, comme nous venons de le voir au paragraphe relatif au guidage par câble des avions. Il serait théoriquement possible d'employer le même procédé pour conduire les avions d'un aérodrome à l'autre; étant donné cependant les inconvénients principaux de ce système, sa fixité et son prix élevé, M. Loth et ses collaborateurs ont réalisé un procédé bien plus souple, plus élégant et conduisant à des frais d'installation de beaucoup inférieurs ; ils l'ont dénommé « guidage sans câble » par opposition aux procédés envisagés ci-dessus

Le guidage sans câble, dont la mise au point a nécessité de longues années d'études, est d'un principe excessivement simple qui est le suivant : réaliser une route par le croisement d'émissions dirigées issues de deux phares tournants de telle façon qu'un observateur, par l'observation de ces émissions, sache immédiatement s'il est sur la route et s'il n'y est pas, de quel côté et à quelle distance de la route il se trouve. Ces émissions peuvent être naturellement de différentes sortes, hertziennes, lumineuses ou sonores, les premières étant plus généralement utilisées en raison de leur plus grande portée.

L'observateur saura qu'il est sur la route lorsqu'il percevra les deux émissions en même temps. Il saura qu'il est sur la droite ou sur la gauche de la route, suivant qu'il percevra l'émission d'un phare avant ou après celle de l'autre phare, leur indicatif d'émission étant connu à l'avance. L'intervalle de temps séparant les deux émissions lui donnera sa distance de la route si le mouvement des phares est combiné de telle façon que tout le long de la route à un même intervalle de temps corresponde une même distance de la route. Cet élément a une importance capitale car il donne le cap à suivre avec deux indications successives seulement. Supposons, en effet, qu'un observateur arrive dans le voisinage d'une route dont il ignore la direction ; étant au point A, une première observation lui indique qu'il est, par exemple, à gauche de la route, à une distance d_1 ; quelques instants après, étant au point B une nouvelle observation lui indique qu'il est à une distance d_2. L'élément de route le plus voisin est donc la tangente commune aux cercles de rayons d_1 et d_2 et de centres A et B (fig. 8). Pour rejoindre la route il modifiera donc son cap d'un angle plus grand que α déterminé par.

$$\sin \alpha = \frac{d_2 - d_1}{AB}.$$

Enfin, l'observateur saura à chaque instant le point de la route où il se trouve et, dans le cas d'un avion, la hauteur à laquelle celui-ci doit voler, si les phares

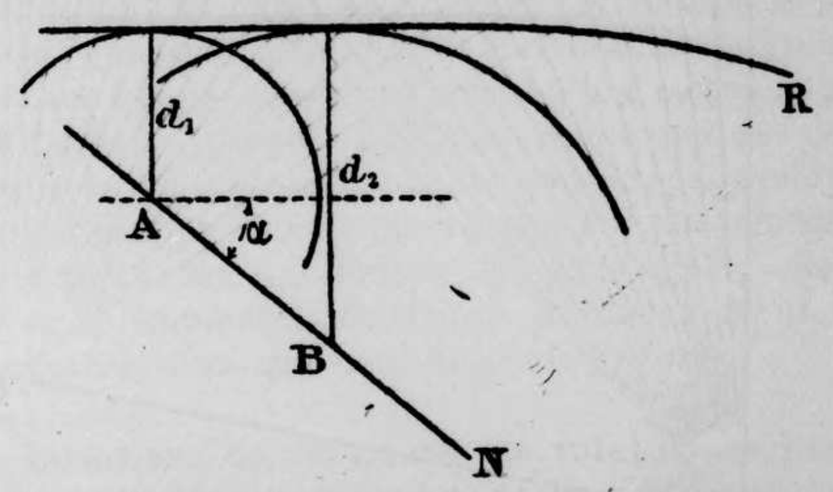


Fig. 8. — Construction graphique permettant de déterminer la direction que doit suivre un observateur pour rejoindre la route, connaissant les distances d_1 et d_2 de ladite route aux points A et B qu'il a occupés successivement.

émetteurs donnent chacun respectivement une de ces indications dans les azimuts correspondants.

B. Réalisation d'une route. — La condition qui a été choisie, et que nous appellerons condition de parallélisme, se traduit par une construction géométrique très simple.

Considérons (fig. 9) le lieu des points situés d'un même côté à une même distance de la route R ; c'est une courbe R' parallèle à R. Soit maintenant un point arbitraire M_0 sur R et une suite de points $M_1, M_2, M_3, M_4, \ldots$ sur R et $M'_1, M'_2, M'_3, M'_4, \ldots$ sur R', M'_1 étant l'intersection de R' avec $O'M_0$, M_1 celle de R avec OM'_1, M'_2 celle de R' avec $O'M_1$, etc.

Par définition en M_1, M_2, M_3, etc., les émissions des phares O et O' sont perçues en même temps, tandis qu'en M'_1, M'_2, M'_3, etc,, elles seront perçues avec un déphasage dans le temps, toujours le même, que nous appellerons T. Il s'ensuit que M_1, qui perçoit O en même temps que M'_1 (si l'on néglige le temps de propagation des ondes de M'_1 en M_1, lequel n'interviendrait que dans le cas des ondes sonores que nous ne traiterons pas ici) le perçoit un temps T après M_0 ; de même M_2 perçoit O un instant T après M_1 ou $2T$ après M_0. Autrement dit, les angles M_0OM_1, M_1OM_2, etc., seront parcourus dans le même temps T et il devient possible de tracer, par interpolation en coordonnées cartésiennes, les courbes $\omega = \varphi(t)$, $\omega' = \psi(t)$, en portant le temps en abscisses (avec T comme unité) et les angles en coordonnées (fig. 10).

En examinant la figure 9, on se rend compte que les points d'où l'on perçoit les émissions avec un déphasage dans les temps 2 T, 3 T, etc., sont aussi sur des courbes parallèles R″, R‴, etc., parallèles à R.

Cette propriété géométrique, qui est absolument

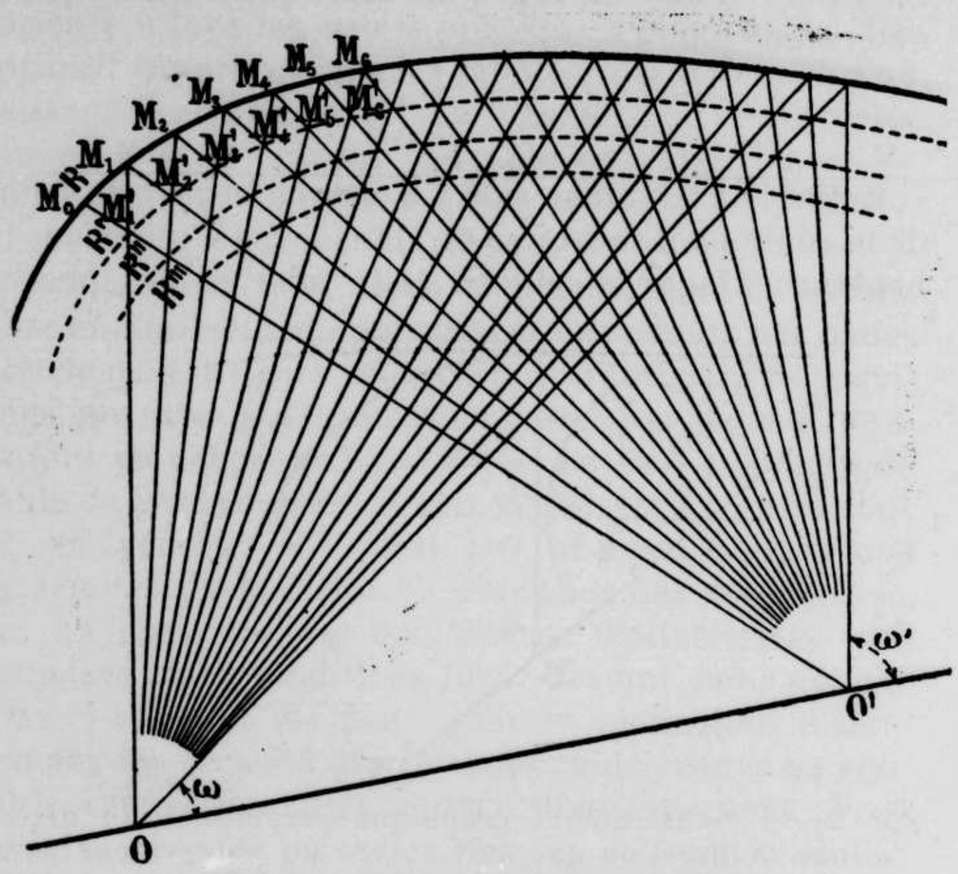


Fig. 9. — Construction graphique mettant en évidence la condition de parallélisme.

générale, peut se démontrer très facilement dans le cas où R est une droite, par les propriétés anharmoniques

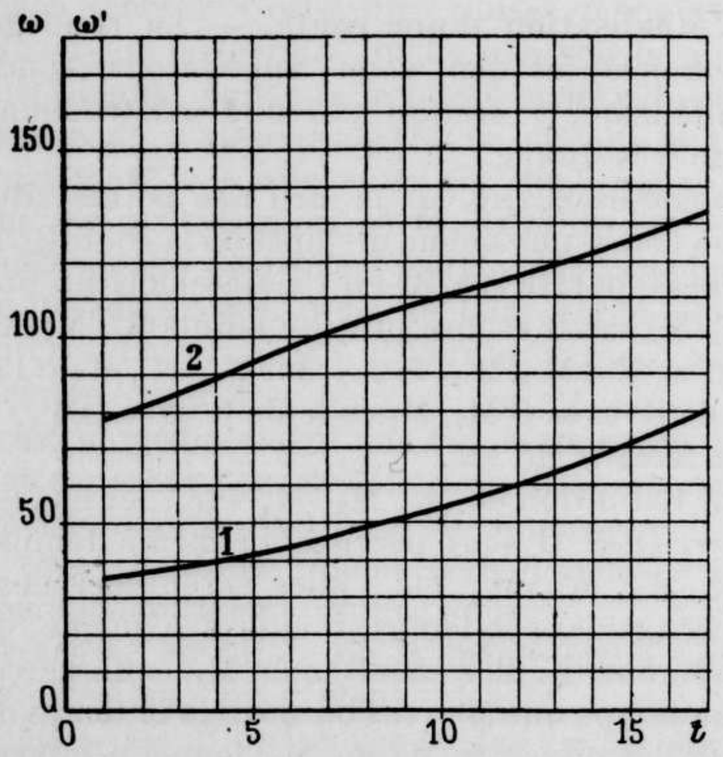


Fig. 10. — Courbes représentant les fonctions 1, $\omega = \varphi(t)$; 2, $\omega' = \psi(t)$.

de deux faisceaux et se généraliser ensuite dans le cas d'une courbe quelconque.

Au lieu de résoudre graphiquement le problème, on peut le traiter par l'analyse. A titre d'exemple, nous allons chercher la solution dans le cas d'une droite.

Les relations liant ω et ω' aux coordonnées cartésiennes définies dans la figure 11 sont

$$\operatorname{cotg}\omega = \frac{x+a}{y}$$

$$\operatorname{cotg}\omega' = \frac{x-a}{y}$$

ou

$$x = a\,\frac{\operatorname{cotg}\omega + \operatorname{cotg}\omega'}{\operatorname{cotg}\omega - \operatorname{cotg}\omega'}$$

$$y = \frac{2a}{\operatorname{cotg}\omega - \operatorname{cotg}\omega'}.$$

Une droite quelconque $mx + py + q = 0$ donnera une équation en ω et ω'

$$ma(\operatorname{cotg}\omega + \operatorname{cotg}\omega') + 2ap + q(\operatorname{cotg}\omega - \operatorname{cotg}\omega') = 0,$$

$$(ma+q)\operatorname{cotg}\omega + (ma-q)\operatorname{cotg}\omega' + 2ap = 0,$$

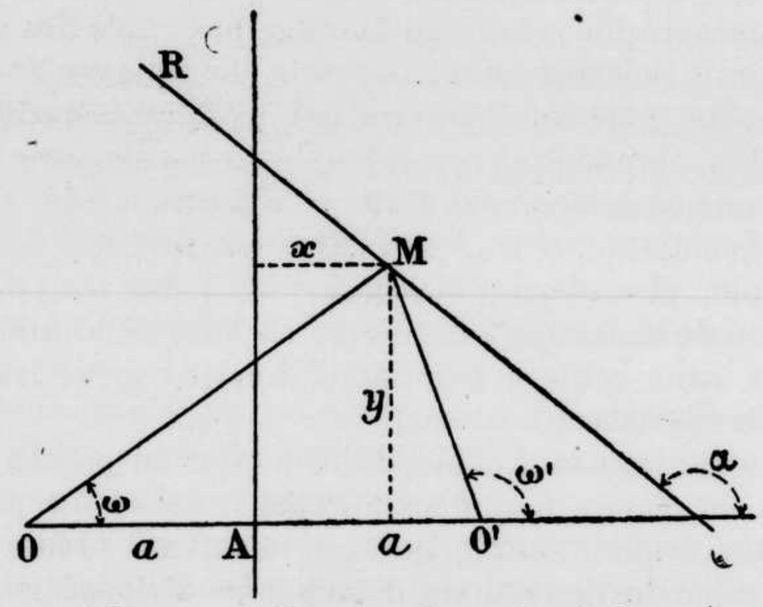


Fig. 11. — Construction géométrique permettant de déterminer la relation entre ω et ω'.

ou, en supposant $ma + q \neq 0$, R ne passant pas par O,

$$\operatorname{cotg}\omega = c\operatorname{cotg}\omega' + d;$$

la constante d sera déterminée en faisant $\omega = \omega' = \alpha$, angle que fait R avec OO′, soit

$$d = (1-c)\operatorname{cotg}\alpha,$$

d'où

$$\operatorname{cotg}\omega - \operatorname{cotg}\alpha = c(\operatorname{cotg}\omega' - \operatorname{cotg}\alpha).$$

Enfin, en posant

$$\operatorname{cotg}\omega = u, \quad \operatorname{cotg}\omega' = v, \quad \operatorname{cotg}\alpha = \theta,$$

$$u - \theta = c(v - \theta).$$

Une droite parallèle à R aura évidemment pour équation

$$u - \theta = c'(v - \theta).$$

Cherchons maintenant une fonction du temps

$U = F(t)$ telle que la condition de parallélisme soit satisfaite. Il faut que le système d'équations

$$u = f(t + \varepsilon) + \theta,$$

$$v = \theta + \frac{1}{c} f(t)$$

représente une droite parallèle à R, ε étant une constante, donc que

$$f(t + \varepsilon) = \frac{c'}{c} f(t),$$

équation fonctionnelle dont la solution est

$$f(t) = \alpha e^{\beta t}.$$

La solution du problème posé est donc, pour une droite,

$$\omega = \text{arc cotg}\,(\theta + \alpha e^{\beta t}),$$
$$\omega' = \text{arc cotg}\,(\theta + c\alpha e^{\beta t}).$$

Le problème peut également être traité par le calcul pour n'importe quel autre tracé de route. Toutefois les calculs dans ce cas deviennent longs et compliqués. Le problème se laisse résoudre facilement par le procédé graphique.

Il y a lieu de noter que ce mode de calcul, qui ne fait intervenir que les angles ω et ω', peut être généralisé dans le cas d'une route tracée sur la terre, quand on veut tenir compte de sa sphéricité. Dans ce cas, il est commode d'utiliser pour la solution graphique des cartes spéciales dites « orthodromiques », où les arcs de grand cercle passant par les points O et O′ sont représentés par des droites et de telle façon que les angles ω et ω' soient conservés. Son usage en radiogoniométrie par stations fixes serait tout à fait indiqué ; son seul inconvénient est de nécessiter autant de cartes spéciales qu'il y a de stations conjuguées deux à deux. Nous ferons remarquer que les raisonnements qui précèdent supposent les deux conditions suivantes :

1° La ligne OO′ ne coupe pas la route R, car tous les points sur OO′, même en dehors de la route, percevraient les émissions en même temps ;

2° La route doit être placée de telle façon par rapport à O et O′ qu'il ne soit pas possible de mener par ces points des droites coupant la route en deux points : ceci donnerait une ambiguïté.

Ces conditions ne restreignent d'ailleurs pas l'emploi du procédé dans la pratique.

Les routes ayant des dimensions finies, la condition de parallélisme ne définira le mouvement des phares que dans les secteurs angulaires ayant O et O′ pour sommet et embrassant la route dans son entier. Pendant le reste de la rotation le mouvement sera choisi en se basant sur d'autres considérations.

Le système de guidage ainsi conçu nécessite, d'une part, l'emploi de phares associés par paire et, d'autre part, la variation de la vitesse de rotation instantanée des phares suivant les différents azimuts par lesquels ils passent successivement.

La route est donnée par une série d'indications qui doivent se répéter identiquement après chaque rotation complète des deux phares ; il faut donc, entre ces derniers, une liaison, admissible pour des phares lumineux pouvant être reliés électriquement ou des phares hertziens côtiers, mais qui devient impossible dans le cas de phares isolés les uns des autres par de grandes distances ou par la configuration des lieux.

Dans le cas où l'on doit renoncer à toute liaison entre les phares on peut encore facilement réaliser une route ; ce ne sont plus des coïncidences que l'on observe, mais des égalités de temps séparant une émission non dirigée signalant le passage d'un phare dans l'azimut du point d'origine de la route et le passage de l'émission dirigée dans l'azimut de l'observateur. Pour que les erreurs d'observation soient faibles il suffit que les vitesses de rotation moyennes des deux phares soient les mêmes à 1 pour 100 près, par exemple, ce qui est facile à obtenir par réglage sur chronomètre.

Dans le cas où une liaison est admissible, elle se fera par la commande électrique du mouvement des deux phares, ainsi que nous allons le préciser.

C. **Variations de la vitesse de rotation.** — Parmi tous les procédés permettant de réaliser une vitesse de rotation variable dans un tour nous en décrirons deux.

1. Commande par poste central. — Les phares sont entraînés par des moteurs faisant une certaine fraction de tour, toujours la même, chaque fois qu'ils reçoivent une impulsion électrique. Ces moteurs peuvent être de différents modèles, mais sont composés en principe d'un échappement commandé par une ancre, elle-même commandée par deux électroaimants.

Les impulsions électriques sont données en courant continu et réglées par une simple bande perforée, chaque perforation laissant passer le courant le temps correspondant à une impulsion ; cette bande est entraînée par un petit moteur à vitesse constante et porte sur chaque bord des perforations inégalement espacées, correspondant aux lois de mouvement respectives des deux phares ; le nombre de perforations est proportionnel à la vitesse de rotation.

La bande de commande et la génératrice de courant continu peuvent être placées dans un poste central indépendant ou non des deux phares. Le grand avantage de ce procédé est la facilité avec laquelle les routes peuvent être combinées et changées, la préparation d'une bande correspondant aux routes même très compliquées étant un travail facile et rapide.

2. Commande locale. — La vitesse de rotation moyenne par tour restant constante pour un phare, il est naturel de réaliser le mouvement par un moteur à vitesse constante et d'obtenir la variation de vitesse dans le tour par une came de forme appropriée dont la rotation est commandée elle-même par celle du moteur d'entraînement. Ce procédé est particulièrement applicable aux phares non liés. Dans le cas des phares liés,

nous prenons comme moteurs d'entraînement des moteurs synchrones alimentés par un même secteur.

Le changement de route s'obtient aussi facilement que dans le cas précédent, mais nécessite toujours des ordres simultanés aux gardiens de phares. D'autre part, l'exécution de cames nouvelles ne peut pas toujours se faire sur place et demande plus de temps que la perforation d'une bande.

Le guidage sans câble peut évidemment être réalisé de diverses manières suivant la nature des ondes dirigées employées. Nous allons les passer en revue successivement.

D. Nature des ondes employées. — 1. Guidage par faisceaux lumineux. — La lumière se propage en ligne droite et il est aisé d'obtenir des faisceaux d'un angle très aigu ; c'est, par conséquent, avec la lumière qu'on obtiendra les résultats les plus précis. Cet avantage est compensé par deux inconvénients majeurs, la faible portée par suite de la rotondité de la terre, et l'absorption par temps bouché.

Néanmoins, les phares lumineux rendent déjà des services immenses à la navigation et l'adjonction de nos dispositifs traceurs de route à certains d'entre eux permettrait de perfectionner ces services qui pourraient être de deux sortes, et d'abord pour le guidage dans les chenaux courbes d'entrée des ports ; ceci permettrait, dans le cas de chenaux assez larges, un plus grand espacement et même la suppression des balises et le guidage des bateaux dans les passes où le balisage est impossible par suite de la houle ou de la profondeur de la mer.

De plus, nos dispositifs pourraient jouer le rôle de « ligne de garde » ; nous entendons par « ligne de garde » une route virtuelle entourant un point dangereux, récifs ou îles, les navigateurs devant éviter de se situer du même côté que le récif ou l'île par rapport à la route.

2. Guidage par rayons infrarouges. — Ce que nous venons de dire pour les faisceaux lumineux s'applique évidemment aux radiations dont la fréquence est voisine de celle des radiations visibles. Parmi celles-ci, les rayons infrarouges entre 1 μ et 1,2 μ environ de longueur d'onde jouissent de la propriété intéressante d'être beaucoup moins absorbée que la lumière visible. La portée en temps de brume des rayons infrarouges semble être dix fois supérieure à celle de la lumière.

Toutefois, la perception de ces radiations nécessite un appareillage spécial avec détecteur (cellules au sélénium) et amplificateur ; d'autre part, dans les brumes très opaques, l'amélioration de portée par rapport à la lumière visible peut être insuffisante. Cependant les essais effectués ont donné des résultats intéressants.

3. Guidage par ondes sonores et ultrasonores. — L'emploi du son ne peut être envisagé que par temps de brume lorsque les phares lumineux deviennent invisibles. Nous devons signaler cependant que les résultats obtenus jusqu'à présent avec les sirènes de brume ne paraissent guère probants, tout au moins au point de vue de la directivité.

Par contre, dans un milieu homogène comme l'eau, en employant les vibrations élastiques de fréquence élevée dites ultrasonores, on peut espérer de bons résultats. La réception de signaux hertziens étant difficile à bord de sous-marins en plongée, sinon impossible, ce procédé de guidage pourrait avoir particulièrement de l'intérêt pour ce genre de bâtiment. L'émission et la réception des ondes ultrasonores se feraient par des quartz tels que ceux employés pour le sondage.

4. Guidage par ondes hertziennes. — 1° *Propriétés de ces ondes.* — C'est le procédé par excellence pour le guidage à distance. En effet, la grande portée et la bonne transmission de ces ondes par tous les temps les désignent particulièrement pour ce but. Nous allons étudier ce procédé en détail.

On peut concevoir diverses combinaisons à l'émission et à la réception. M. Loth et ses collaborateurs ont été guidés dans leur choix par les considérations suivantes :

Les ondes hertziennes, tout en présentant les grands avantages bien connus pour le guidage à distance, ont un grave défaut, c'est leur faible directivité et leurs anomalies de propagation. En ce qui concerne ces dernières, on peut supposer qu'elles sont assez connues (anomalies diurnes et saisonnières) dans leur ensemble pour pouvoir être corrigées. Le mouvement de rotation du phare sera donc réglé de façon telle que son émission vienne, à chaque instant, se croiser au point voulu sur la route avec l'émission du phare conjugué avec lui, ce qui ne suppose nullement qu'ils soient dirigés suivant la droite ou plutôt suivant l'arc du grand cercle passant par le phare et par le point envisagé sur la route. Dans le cas d'anomalies variables on peut disposer d'autant de bandes perforées ou de jeux de cames qu'il sera nécessaire.

La faible directivité des ondes hertziennes impose l'emploi de cadres à l'émission, soit l'utilisation d'ondes très courtes. En effet, les antennes pour émission dirigée sont trop encombrantes pour des longueurs d'onde plus grandes. Le diagramme de l'émission par cadre (fig. 12), formé de deux cercles tangents à l'axe de symétrie perpendiculaire aux cadres, est bien connu. L'émission n'est que médiocrement dirigée. Cependant on y a pallié par l'adjonction du filtreur Y. Marrec au poste de réception. Nous verrons l'effet du filtreur en étudiant plus loin l'appareillage de réception. D'autre part, l'émission par cadre se prête bien dans le cas des phares tournants, contrairement à l'émission par antenne. On peut, soit faire tourner le cadre émetteur lui-même, soit employer le système Bellini-Tosi à l'émission.

2° *Description au système utilisant les ondes hertziennes dirigées.* — Le schéma du système est donc le suivant : émission sur cadre par deux phares, réception sur antenne dans l'avion, à l'inverse de ce qui est fait dans la radiogoniométrie. La réception sur simple antenne affranchit l'observateur ou le pilote de toutes

les difficultés que présenterait pour lui la manipulation de cadres à la réception ; en particulier, il n'a pas de relèvement à faire et il n'y a pas d'erreur provenant de l'incertitude sur la direction du nord au sud, ni d'ano-

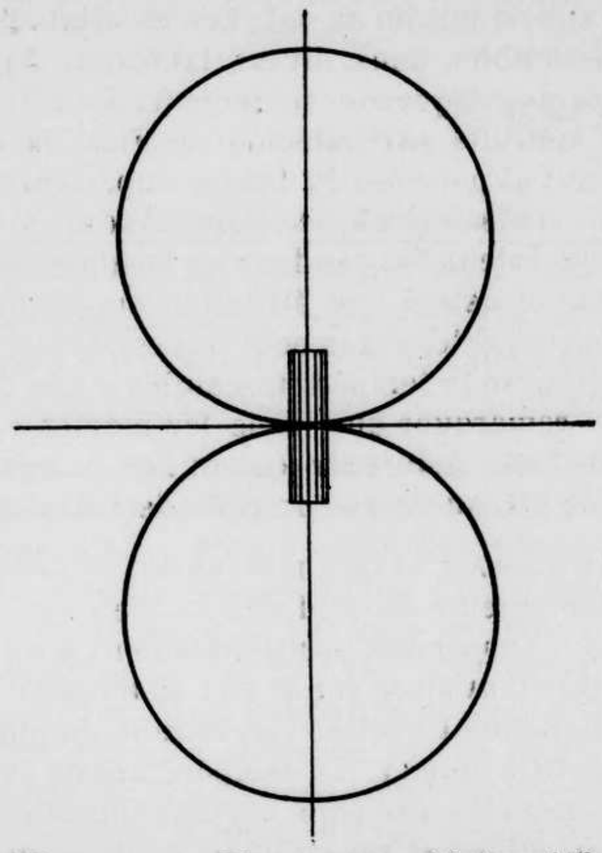


Fig. 12. — Diagramme d'intensité du champ électromagnétique à émission par cadre.

malies de propagation à la réception ; les erreurs de calcul de la radiogoniométrie, incertitude du tracé de l'arc capable sphérique, correction de Givry, etc., n'interviennent plus.

Les avantages de ce mode de réception expliquent le fait que les indications de ce système de guidage ne sont entachées que d'une erreur de l'ordre de 1 degré, tandis que l'erreur possible, dans les mêmes conditions, en employant les procédés de la radiogoniométrie, peut atteindre jusqu'à 10 degrés.

Nous allons voir maintenant comment on peut rendre plus dirigée l'émission d'un cadre, dont la figure 13 donne le diagramme, au moyen du filtreur antiparasite Marrec(1). Cet appareil, lequel, comme son nom même l'indique, a pour rôle d'éliminer les parasites, et principalement ceux provenant des magnétos, à bord de l'avion, jouit d'un pouvoir sélectif puissant. Il y ajoute une autre propriété précieuse, c'est son pouvoir limiteur ou effet de seuil. Autrement dit, l'appareil ne laisse passer que les courants supérieurs à un certain palier. Le diagramme à la réception ne se présente donc plus comme deux cercles, mais comme deux secteurs de cercle (fig. 13). L'observateur ne perçoit donc qu'un faisceau d'ondes dirigées à délimitation très nette. Deux modes de réception sont possibles : par maximum, en réglant le limiteur de manière à obtenir un faisceau nettement découpé, et par minimum, en agissant sur le limiteur pour obtenir des zones de silence également nettement découpées. Tous les deux ont été essayés avec des résultats satisfaisants ; toutefois le deuxième semble d'une manipulation plus facile. En dehors de ce filtreur et limiteur il n'y a pas

(1) Y. Marrec. *L'Onde électrique*, loc. cit.

d'autre particularité à signaler en ce qui concerne la réception. Tout poste de réception avec adjonction de cet appareil peut servir pour le guidage sans câble. L'avantage principal du système c'est l'absence totale de manœuvre à faire à la réception. Le navigateur ne fait qu'observer la coïncidence des signaux de deux postes émetteurs. Il en déduit automatiquement sa position par rapport à la route. Si paradoxale que paraisse cette affirmation, il importe de signaler que le navigateur peut parfaitement accomplir son trajet en

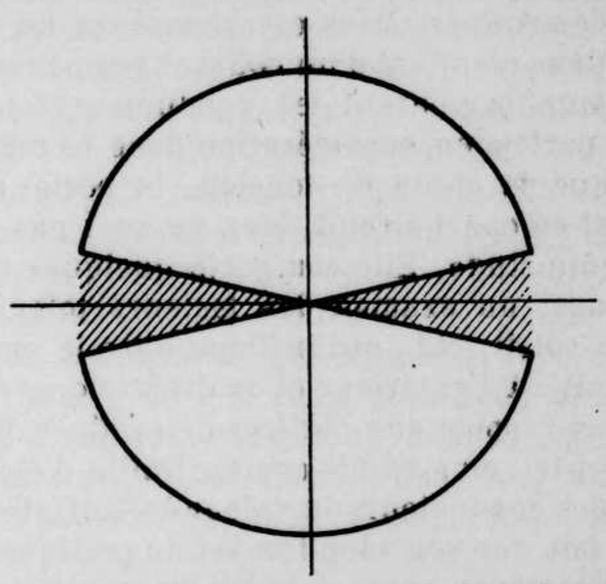


Fig. 13. — Diagramme d'intensité du champ électromagnétique à la réception.

ne se donnant même pas la peine d'emporter une carte de la route. D'ailleurs il serait parfaitement possible de signaler au navigateur le nombre de kilomètres parcourus et la hauteur à laquelle il doit se tenir, dans le cas de l'avion, par un système judicieux d'indicatifs.

Le procédé est applicable indifféremment à tout mobile se déplaçant soit sur l'eau, soit dans l'air. Nous attirons surtout l'attention du lecteur sur la souplesse incomparable de ce système de guidage à distance.

V. **Conclusion**. — Avec le dispositif qui vient d'être décrit, il est facile de tracer une route quelconque et, en particulier, de réaliser plusieurs itinéraires entre deux points éloignés. Le remplacement d'un itinéraire par un autre serait quasi instantané : deux cames à changer, opération qui, à la rigueur, pourrait même s'effectuer sans arrêter la rotation des phares. On voit immédiatement tous les avantages que la navigation aérienne et, en particulier, celle des grands raids peut tirer de cette modification facile de l'itinéraire. Le service météorologique n'aurait plus à établir des prévisions de temps, mais simplement des constatations du temps qu'il fait à l'heure actuelle pour déterminer immédiatement la route optimum à suivre au moment donné, ce qui est plus facile et plus sûr. La combinaison des deux procédés, guidage par câble, à proximité de l'aérodrome et guidage sans câble d'un aérodrome à l'autre, représente, comme on le voit, une navigation absolument sûre, qui ne laisse pas de place à l'imprévu ni à l'aléa.

C. Bourgonnier,
Directeur de la Société industrielle des Procédés W.-A. Loth.

Revues, analyses et informations

Echauffement et intensités de courant admissibles dans les conducteurs nus installés à l'extérieur (1).

1. Généralités. — Le but de cet article est de réviser les données existantes sur l'échauffement des conducteurs nus installés soit à l'extérieur, soit dans des bâtiments et de présenter des formules permettant la détermination de l'intensité de courant admissible correspondant à une élévation de température déterminée. Dans cet exposé on ne considère que les conditions résultant d'un courant permanent et d'intensité constante parcourant les conducteurs; les autres facteurs pris parfois en considération dans le cas qui nous occupe tels que la chute de tension, la perte d'énergie, l'échauffement en court-circuit, etc., ne sont pas envisagés dans la présente étude. Elle comporte quelques considérations théoriques, un examen des facteurs tels que vent, exposition au soleil, etc., qui influent dans le cas de conducteurs installés à l'extérieur et la discussion de résultats de mesures par rapport aux chiffres déterminés théoriquement. D'autre part, on a admis comme limite d'élévation de température des conducteurs la valeur de 30°C. Ce chiffre a été choisi du fait que son adoption est de pratique courante et qu'il correspond, en outre, à la limite maximum d'élévation de température admissible pour la conservation des isolants dans les appareils reliés par ces conducteurs et aussi pour la bonne tenue des contacts des sectionneurs et interrupteurs.

2. Considérations théoriques. — La discussion complète de la théorie de l'échauffement des conducteurs nus a été exposée par C.-W. Rice et les auteurs se contentent d'adapter les formules générales données dans cette théorie aux cas étudiés. Dans les formules qu'ils établissent toutes les quantités, sauf une, peuvent être mesurées. Toutefois les coefficients employés ne correspondent pas toujours aux conditions d'emploi des conducteurs. Si on peut alors obtenir des résultats d'essais il est préférable de les utiliser et de n'employer les formules que pour les contrôler ou pour les cas ne correspondant pas à ces conditions.

3. Facteurs agissant sur l'échauffement de conducteurs placés dans des salles. — En pratique les élévations de température sont différentes de celles obtenues au moyen des formules en raison de différentes causes qui tendent à modifier les conditions auxquelles elles correspondent, c'est-à-dire : charge non continue des conducteurs ou inférieure à la charge totale, courants d'air produits par l'ouverture de fenêtres ou par les ventilateurs de machines tournantes et refroidissement dû aux connexions. Ces causes diminuent l'élévation de température des conducteurs, alors que d'autres tendent à l'accroître, telles que surcharges, connexions à des conducteurs à température plus élevée et surtout disposition en cellules.

4. Facteurs agissant sur l'échauffement de conducteurs installés a l'extérieur. — Dans le cas de conducteurs installés à l'extérieur les facteurs agissant sur leur échauffement sont la température ambiante et surtout la vitesse et la direction du vent et l'exposition au soleil. Ces facteurs ont été étudiés expérimentalement par les auteurs. La vitesse du vent a été mesurée sur le toit d'un bâtiment dégagé de tout obstacle environnant et en divers points plus ou moins abrités situés sur ce toit ou au sol. Les résultats de ces mesures sont rassemblés dans divers tableaux. Sans entrer dans le détail nous indiquerons seulement ici qu'ils montrent que, dans les endroits partiellement abrités, la vitesse du vent est, pendant 95 pour 100 du temps, supérieure à 2 pieds par seconde (61 cm : s environ), ce qui a conduit au choix de ce chiffre comme valeur de base dans les formules théoriques. Les auteurs ont constaté une élévation supplémentaire de deux à trois degrés centésimaux pour des conducteurs dont la température dépasse la température ambiante de 30°C. Il est intéressant de remarquer que, dans les mêmes conditions, la température d'un conducteur témoin non parcouru par du courant était de 8°C au-dessus de celle de l'air ambiant.

5. Résultats d'essais et leur discussion. — Les essais ont porté sur des longueurs de conducteurs pleins ou tubulaires de 3 m environ, suspendus horizontalement à un cadre en bois, l'ensemble étant placé sur le toit en terrasse d'un bâtiment, et partiellement abrité. Le courant employé est du courant alternatif à 60 p : s. La température de chaque conducteur était mesurée par trois couples thermoélectriques, placés, deux au milieu et un au quart de la longueur et par trois thermomètres fixés aux mêmes points suivant la méthode ordinaire. On relevait toutes les demi-heures l'intensité du courant, la puissance absorbée, les températures des conducteurs, des objets environnants et de l'air et la vitesse du vent. Des mesures furent ensuite effectuées avec les mêmes conducteurs placés dans une grande salle de 5,40 m de hauteur sous plafond, à l'abri des courants d'air. De l'ensemble des courbes qui traduisent les résultats de ces mesures, les auteurs en ont déduit d'autres donnant en fonction du diamètre du conducteur les pertes en watts par pouce carré admissibles pour une élévation de 30°C de la température du conducteur.

L'examen de ces différentes courbes et des points correspondant à un temps clair et à un temps couvert montre que l'échauffement supplémentaire dû au soleil est d'autant plus faible que la température propre du conducteur est déjà plus élevée. Pour des conducteurs partiellement abrités du vent et pour des conditions climatiques correspondant à celles où les auteurs ont effectué ces mesures, on peut, en première approximation, déterminer l'intensité du courant correspondant à une élévation de température de 30°C en se basant sur une vitesse du vent de 2 pieds par seconde sans tenir compte de l'effet dû au soleil. Dans ces mesures les temperatures données par les couples thermoélectriques étaient de 2 à 3°C supérieures à celles données par les thermomètres dans le cas de conducteurs installés à l'intérieur et ce sont les premières qui ont été prises en considération. Dans le cas des conducteurs placés à l'extérieur, les différences entre les deux indications n'étaient plus aussi constantes et on a retenu les moyennes des deux lectures.

Les intensités de courant admissibles correspondant à une élévation de température de 30°C, et pour le cas de conducteurs placés à l'extérieur, à une vitesse de vent de 2 pieds par seconde et à une situation partiellement abritée, la température de l'air ambiant étant supposée de 40°C, ont été calculées par les auteurs pour divers types de conducteurs de dimensions les plus courantes; les résultats sont rassemblés dans plusieurs tableaux. — J. S.

(1) O.-R. Schurig et C.-W. Frick. *General electric Review*, mars 1930, p. 141-157, 8 000 mots, 17 figures, 8 tableaux.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

L'Energie industrielle.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 MARS 1930.

Des rapports concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 150 837 500 fr, et dont le siège est à Paris, 29, rue de Rome, nous extrayons les renseignements suivants :

La première partie du rapport du conseil d'administration indique les extensions apportées aux réseaux de la société.

Région lyonnaise. — Jusqu'ici la société possédait dans cette région deux réseaux séparés situés, l'un à l'ouest de Lyon, l'autre à l'est. Les accords, qui sont récemment intervenus avec la Compagnie du Gaz de Lyon et la Société générale de Force et Lumière, vont permettre de constituer un réseau intermédiaire qui sera alimenté par la Société hydroélectrique de Lyon, et comprendra trente-trois communes de la banlieue lyonnaise. D'autre part, la société dont nous nous occupons a acquis récemment des intérêts prépondérants dans la société Lumière et Energie, dont le territoire constitue une extension du réseau de la banlieue ouest de Lyon jusqu'au-delà de Montbrison.

Haute-Auvergne et Plateau central. — La société a acquis les concessions de gaz et d'électricité du Mont-Dore, où elle fournissait déjà l'énergie électrique en gros, ainsi que les réseaux de La Courtine et de Bugeat. Elle a obtenu la concession de divers syndicats et pris une participation dans l'Energie électrique de la moyenne Dordogne, société ayant pour but l'aménagement de la Dordogne, entre la limite aval de la concession de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans et la ville d'Argentat.

Drôme, Ardèche, Gard. — Le développement de ce réseau s'est poursuivi normalement.

Côte-d'Or et Saône-et-Loire. — Les résultats d'exploitation du réseau de Montceau-les-Mines sont en augmentation. L'exploitation du réseau de Beaune s'est poursuivie normalement. Une filiale, la Société d'Entreprise et d'Installations électriques, a obtenu la concession de l'important syndicat de La Clayette.

Oisans. — La société a développé ses réseaux en amont de Bourg-d'Oisans, obtenu la concession du syndicat du Haut-Oisans et conclu des accords avec la Compagnie du Gaz de Lyon pour la vente des suppléments d'énergie non utilisés de l'usine hydroélectrique d'Allemont, et avec la Société générale de Force et Lumière pour leur transmission jusqu'à Lyon.

Haute-Marne. — La société a acquis le contrôle de la Société haut-marnaise d'Electricité à laquelle son usine de Langres fournissait déjà du courant.

Bretagne et Normandie. — La nouvelle usine à gaz de Vannes a été mise en service et a donné de bons résultats.

Var et Alpes-Maritimes. — Il a été conclu avec l'Energie électrique du Littoral méditerranéen un accord général qui aura pour résultat une meilleure utilisation des moyens de production et de transmission des deux sociétés, et qui assure à l'Energie industrielle une importante extension de ses zones de Menton et de Saint-Raphaël.

Région parisienne. — Le secteur ouest comprenait jusqu'ici la ville de Chartres et quelques agglomérations avoisinantes. Il a été cette année notablement augmenté par l'acquisition de divers secteurs situés soit entre la ville de Chartres et celle de Nogent-le-Rotrou, exploités par une filiale, la Société de Gaz et d'Electricité de Nogent-le-Rotrou, soit au sud de Chartres jusqu'aux confins du département du Loiret.

Les résultats bruts d'exploitation pour l'ensemble des réseaux de la société s'élèvent à 23 453 881,29 fr contre 20 826 829,88 fr l'année précédente (1), bien que les résultats du réseau de Madagascar, qui figuraient encore pour moitié dans les comptes de l'exercice précédent, aient complètement cessé d'intervenir dans ceux de cette année.

Parmi les nombreuses sociétés dans lesquelles l'Energie industrielle possède des intérêts importants, signalons les suivantes :

La Société hydroélectrique du Sud-Est qui a commandé pour son usine de Breil sur la Roya les deux nouveaux groupes dont l'emplacement avait été réservé, ainsi que la deuxième conduite forcée. A la fin de cette année l'usine sera donc, tant au point de vue hydraulique qu'au point de vue mécanique et électrique, équipée pour sa puissance maximum de 10 000 ch ;

La Société hydroélectrique des Basses-Pyrénées qui a poursuivi la réalisation de son programme, comportant l'électrification intégrale, avec le concours des collectivités intéressées, du département des Landes ;

L'Energie électrique de la Basse-Loire dont les résultats ont été très favorables. La production de l'usine génératrice thermique de Saint-Nazaire, en augmentation de près de 20 pour 100 sur l'année précédente, a été d'environ 25 000 000 kilowatts-heures. Cette société a porté son capital de 15 à 20 millions de francs et amorti d'un quart les actions émises l'année précédente ;

Les travaux du barrage de Guerlédan, appartenant à l'Union hydroélectrique armoricaine, se sont poursuivis ; l'usine a été mise en route au début de l'année ;

D'importants travaux ont été exécutés pour relier les réseaux de la Société des Forces motrices de la Loue et de la Société des Forces motrices du Refrain. Les usines hydrauliques et thermiques de ces deux sociétés seront incessamment réunies par une ligne à 60 000 v ;

La nouvelle société Electricité et Eaux de Madagascar a terminé les travaux de la deuxième usine hydroélectrique d'Antelomita sur la Varahina destinée à compléter l'alimentation en énergie électrique de Tananarive. Les travaux de la chute de Volobé, destinée à l'alimentation de Tamatave, se poursuivent normalement, ainsi que les travaux d'électrification de cette ville. Elle a également commencé la construction d'une usine génératrice à moteurs Diesel destinée à alimenter Majunga en attendant la réalisation de l'important programme hydraulique prévu pour cette région et obtenu les concessions de Fianarantsoa et d'Antsirabé.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 4 mai 1929, t. XXV, p. 705.

L'Energie industrielle a pris des intérêts prépondérants dans la Compagnie des Services d'Eau, société anonyme belge qui exploite en Espagne les distributions d'eau de Moron et de Carmona près de Séville et possède la plus grande partie des actions de la Compagnie des Eaux de Salonique. Cette dernière société a été transformée en société française sous le nom de « Société de Distribution d'Eau de Salonique », au capital de 8 750 000 fr. Elle a entrepris depuis sa création d'importants travaux pour augmenter la quantité d'eau disponible.

Les produits du portefeuille titres ont été cette année de 11 202 766,41 fr contre 6 328 104,41 fr l'année précédente.

Les produits des recettes et redevances ont été de 14 millions 382 503,45 fr contre 12 309 393,21 fr l'année précédente.

La longueur des lignes électriques à haute et à basse tension pour l'ensemble des sociétés du groupe est d'environ 26 000 km contre environ 20 000 km l'année précédente. Les clients de gaz et d'électricité sont au nombre de 675 000 environ, répartis sur 3 180 communes représentant une population totale de plus de 3 500 000 habitants. L'énergie électrique distribuée pendant l'année 1929 a atteint 467 000 000 kilowatts-heures et la vente du gaz, 77 000 000 m³.

Le crédit du compte de profits et pertes comprend : les bénéfices sur exploitation réseaux, 23 453 881,29 fr; les produits du portefeuille titres, 11 202 766,41 fr; les recettes et redevances diverses, 14 382 503,45 fr. Le montant du crédit est donc de 49 039 151,15 fr.

Le débit se répartit ainsi : Frais généraux d'administration, 1 538 340,93 fr; impôts à la charge de la société, 4 047 149,08 fr; coupons des bons et obligations, 5 millions 559 262,50 fr; intérêts sur emprunt extérieur, 1 million 905 035,83 fr; intérêts et changes, 5 114 384,38 fr; frais d'émission obligations 5 pour 100, 2 904 830,90 fr; amortissement usines, réseaux et concessions, 6 000 000 fr; amortissement sur comptes divers, primes de remboursement, 716 590,16 fr; soit au total 27 785 593,78 fr. Le bénéfice ressort donc à 21 253 557,37 fr.

Pour se procurer des ressources, la société a procédé l'an dernier à plusieurs opérations importantes : au mois d'avril 1929, il a été émis 261 250 actions A au taux de 375 fr et 15 000 actions B au taux de 200 fr. Au mois de novembre 1929, il a été procédé à l'émission de 75 000 obligations de 1 000 fr chacune représentant un capital nominal de 75 millions de francs. Ces obligations sont du type 5 pour 100 demi-net, alors que les obligations émises l'année précédente étaient du type 6 pour 100 demi-net. En fin d'exercice, la société a procédé à une deuxième émission d'actions dont les résultats figureront au prochain bilan, cette opération n'ayant été close qu'au début du mois de janvier 1930.

L'actif immobilisé a passé de 122 055 533,88 fr à 168 millions 660 983,17 fr, mais il y a lieu d'observer que dans cette augmentation figure pour un chiffre important un ensemble d'immeubles acquis rue du Faubourg Saint-Honoré, à Paris, pour réaliser une installation des services centraux.

Le portefeuille titres a passé de 146 339 499,18 fr à 256 512 607,81 fr, soit une augmentation d'environ 110 millions de francs. Cet accroissement n'est pas dû à la valorisation comptable des participations, mais provient seulement de l'acquisition de titres de nouvelles sociétés ou de la souscription aux augmentations de capital.

Le montant des réserves et amortissements est passé de 24 739 709,42 fr à 100 009 080,44 fr en raison principalement de l'augmentation du compte des primes d'émission.

Les bénéfices nets, après l'emploi des sommes jugées nécessaires aux amortissements, s'élèvent à 21 253 557,37 fr.

En y ajoutant le report de l'exercice précédent, soit 1 158 816,14 fr, le solde disponible ressort à 22 412 373,51 fr.

La répartition de ce solde est la suivante : réserve légale 5 pour 100 sur 21 253 557,37 fr, soit 1 062 677,86 fr; intérêt de 5 pour 100 sur 1 045 000 actions A anciennes, soit 5 millions 225 000 fr; intérêt de 5 pour 100 (prorata temporis) sur 261 250 actions A nouvelles libérées d'un quart, soit 229 900 fr; intérêt de 5 pour 100 sur 50 000 actions B anciennes, sur capital versé, soit 136 595 fr; intérêt de 5 pour 100 (prorata temporis) sur 15 000 actions B, nouvelles sur capital versé, soit 26 433 fr; superdividende de 10 pour 100 sur 1 306 250 actions A, soit 13 062 500 fr; superdividende de 5 pour 100 sur 65 000 actions B, soit 325 000 fr; attributions statutaires, 1 487 500 fr.

Il est reporté 856 767,65 fr.

Le dividende brut de l'exercice 1929 est ainsi de 15 pour 100 pour les actions A et de 10 pour 100 pour les actions B, contre respectivement 14 pour 100 et 9,50 pour 100 l'année précédente.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Usines, immeubles, concessions et réseaux	168 660 983,17
Caisses et banques	38 981 849,76
Clients et débiteurs divers	61 741 236,62
Comptes courants des filiales	130 877 257,14
Portefeuille (actions et obligations diverses)	256 512 607,81
Cautionnements	209 306,75
Branchements et compteurs en location	19 760 576,07
Marchandises en magasin	28 644 292,08
Mobilier, matériel et outillage	2 094 593,85
Frais d'émission d'actions, d'obligations, de bons et d'emprunt extérieur	1 »
Prime de remboursement des obligations 5 pour 100	1 »
Prime de remboursement des bons 6 pour 100	480 000 »
Prime de remboursement des obligations 6 pour 100	2 000 000 »
Prime de remboursement des obligations 5 pour 100 1929	1 687 500 »
Prime de remboursement sur emprunt extérieur	3 215 434,32
	714 865 639,57

Passif.

	fr
Capital-actions	137 125 000 »
Réserve légale	3 202 235,94
Réserve pour amortissement : matériel, compteurs et branchements	8 530 844,50
Réserve pour amortissement : usines, réseaux et concessions	17 859 500 »
Primes sur augmentation de capital	70 416 500 »
Obligations 5 pour 100	5 774 500 »
Bons 6 pour 100	30 000 000 »
Obligations 6 pour 100 1928	50 000 000 »
Id. 5 pour 100 1929	75 000 000 »
Emprunt extérieur	25 519 320 »
Acceptations	38 812 500 »
Effets à payer	49 796 385,65
Comptes courants des filiales	99 086 663,64
Créanciers divers	77 255 204,24
Coupons à payer	1 594 100,82
Part des coupons courus et non échus	2 480 511,27
Profits et pertes :	
Anciens	1 158 816,14
Nouveaux	21 253 557,37
	714 865 639,57

Compagnie centrale d'Energie électrique.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 29 AVRIL 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 55 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 3 rue Moncey, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Les dépenses se sont accrues, surtout en fin d'année, en raison de la hausse qui a affecté la plupart des matières utilisées pour le fonctionnement et l'entretien des usines et des réseaux, le prix du charbon étant seul resté à peu près stationnaire. Néanmoins, la progression des ventes d'énergie s'étant poursuivie normalement au cours de l'exercice, les produits d'exploitation se présentent cette année encore en augmentation sensible.

Les actions constituant la dernière augmentation de capital, et celle réalisée en 1927, ont été émises avec des primes dont le montant global, après déduction des sommes nécessaires à l'égalisation des jouissances et des divers frais, a été porté à un compte spécial du passif, primes sur augmentations de capital, qui s'élève à 24 959 107,85 fr.

Les sommes correspondantes ont été employées pour la création d'installations nouvelles ou dans des participations qui sont entrées maintenant les unes et les autres dans la période de productivité normale. Aussi le conseil a estimé que, sans s'écarter des règles de prudence observées jusqu'ici, le moment était venu d'incorporer au capital les réserves ainsi constituées et d'élever par ce moyen le capital social à un montant en rapport avec l'importance réelle des sommes effectivement investies.

En vertu d'une résolution adoptée par l'assemblée générale extraordinaire du même jour, l'assemblée générale ordinaire a été autorisée à décider, sur la proposition du conseil d'administration, l'incorporation au capital social des réserves disponibles à concurrence de la moitié au maximum dudit capital.

En conformité de ces dispositions, le capital de la compagnie est porté de 55 millions à 82 500 000 fr, par incorporation d'une somme de 27 500 000 fr représentée, à concurrence de 24 959 107,85 fr, par un prélèvement sur le montant du compte primes sur augmentations de capital et, pour le surplus, soit 2 540 892,15 fr, par le montant d'une réserve extraordinaire constituée par prélèvement sur les produits de l'exercice 1929.

Cette augmentation de capital sera réalisée par la remise d'une action nouvelle pour deux anciennes, les actions nouvelles étant créées jouissance 1er janvier 1930,

L'usine de Grand-Quevilly, alimentant le réseau de la Seine-Inférieure, a produit 117 196 700 kw-h contre 105 512 900 kw-h en 1928 (1).

L'installation du matériel nouveau se poursuit normalement.

Deux groupes turboalternateurs de 15 000 kw et deux chaudières de 1 640 m² ont été récemment mis en service. Un troisième groupe turboalternateur de même puissance va entrer prochainement en montage.

Les réseaux d'électrification rurale de la Seine-Inférieure, dont la compagnie doit assurer l'exploitation, seront bientôt achevés. Dans le syndicat de Fontaine-le-Bourg notamment, dix-neuf communes ont été raccordées en 1929.

Les négociations engagées avec l'administration en vue de l'aménagement de la chute créée par le barrage de Poses ont rencontré des difficultés en raison de la plus-value des travaux résultant des hausses récentes. De nouvelles combinaisons ont été mises à l'étude et font actuellement l'objet d'un examen des services compétents.

Le secteur de l'Indre a été alimenté en majeure partie par l'usine hydroélectrique d'Eguzon. La quantité d'énergie produite ou achetée s'est élevée à 6 072 280 kw-h contre 5 778 860 kw-h en 1928.

Les travaux d'établissement des réseaux ruraux continuent dans ce département et un certain nombre de communes concédées tant à l'Union électrique rurale qu'à la compagnie sont actuellement alimentées. Toutefois, la compagnie a dû refuser de prendre à sa charge certaines parties des travaux dont la mauvaise exécution eût entraîné un important supplément de frais d'entretien ou compromis la sécurité de l'exploitation.

Malgré les difficultés dues principalement à une pénurie momentanée de main-d'œuvre, la construction de l'importante usine d'Alger de la Société algérienne d'Eclairage et de Force sera probablement achevée au début de 1931. Cette filiale disposera ainsi de puissants moyens de production qui lui permettront de faire face à la demande croissante d'énergie dans le département d'Alger. L'usine de Mers-el-Kébir, qui alimente le réseau d'Oran, va être également pourvue cette année de nouvelles installations rendues nécessaires par le développement de la clientèle. Pour faire face aux dépenses résultant de l'exécution de ce programme, la Société algérienne d'Eclairage et de Force a émis, en décembre dernier, un emprunt obligataire de 30 millions de francs. Les résultats obtenus sont en amélioration sur ceux de l'an dernier et permettront de maintenir, pour le capital porté de 40 à 55 millions de francs, un dividende calculé sur les mêmes bases que l'an dernier, tout en réservant aux comptes de prévoyance des dotations en rapport avec l'importance accrue des immobilisations.

Il avait été signalé l'an dernier la part prise par la compagnie dans la constitution de deux sociétés filiales, la Société centrale d'Applications électriques et la Société des Forces motrices d'Algérie.

Bien que ne possédant encore qu'une agence d'exploitation à Rouen, la Société centrale d'Applications électriques a réalisé, pour son premier exercice, avec un capital versé de 1 250 000 fr, un bénéfice suffisant pour lui permettre, après amortissement d'une partie des frais de constitution, de répartir un dividende annuel représentant 7 pour 100 du montant versé.

La Société des Forces motrices d'Algérie poursuit l'étude de l'aménagement des chutes d'eau dont elle a obtenu la concession.

La comparaison du bilan avec celui de l'exercice précédent permet de constater les différences suivantes :

A l'actif, le compte premier établissement s'élevait, au 31 décembre 1928, à 82 919 758,90 fr. En ajoutant les dépenses imputées à ce compte en 1929, soit 8 116 136,80 fr, le total ressort à 91 035 895,70 fr. Les amortissements effectués réduisent le montant du compte à 82 200 169,90 fr, somme égale à celle qui figure au bilan.

Les frais de la dernière augmentation de capital se sont élevés à 1 306 544,65 fr. Après amortissement de la moitié de ces frais à concurrence d'une somme de 653 272,30 fr, le reliquat, soit 653 272,35 fr, a été porté à un nouveau compte : frais relatifs à l'augmentation de capital.

Le montant du compte titres en portefeuille s'est augmenté pendant l'exercice d'une somme de 8 253 433,15 fr comprenant notamment les versements de libération sur la souscription de la compagnie aux augmentations de capital de la Société algérienne d'Eclairage et de Force.

Au passif, le compte capital est passé de 45 millions à

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 16 novembre 1929, t. XXVI, p. 805.

55 millions de francs en raison de l'augmentation de capital de 10 millions de francs rendue définitive au cours de l'exercice.

Le compte obligations 5 pour 100 est en diminution de 543 500 fr par suite du remboursement de 1 087 obligations, effectué au cours de l'exercice.

Le compte obligations 6 pour 100 est en diminution d'une somme de 625 000 fr en raison du remboursement de 1 250 obligations pendant la même période.

Les dépenses imputées pendant l'année 1929 au compte renouvellement et grosses réparations se sont élevées à 3 799 894,05 fr. D'autre part, une somme de 5 947 229 fr y a été affectée par prélèvement sur les produits d'exploitation. Le montant de ce compte ressort ainsi à 13 564 220,17 fr contre 11 416 885,22 fr au 31 décembre 1928.

Le poste participation des collectivités aux travaux d'électrification rurale est passé de 4 807 993,60 fr à 5 millions 964 552,25 fr, la différence, soit 1 156 558,65 fr, représentant le montant versé en 1929 de la part prise à leur charge par l'Etat, les départements et les communes dans les dépenses d'établissement des réseaux d'électrification rurale.

Le compte primes sur augmentations de capital est en augmentation d'une somme de 14 500 000 fr représentant le montant des primes versées sur l'augmentation de capital rappelée ci-dessus.

Enfin une réserve extraordinaire de 2 540 892,15 fr, dont l'objet a été indiqué plus haut a été créée par prélèvement sur les produits bruts de l'exercice.

Les recettes se sont élevées à 53 012 886,68 fr contre 45 652 177,12 fr en 1928 et les dépenses à 25 336 831,47 fr contre 20 954 712,64 fr.

Les produits d'exploitation ressortent à 27 676 055,21 fr auxquels il convient d'ajouter : le loyer des installations exploitées par la Société algérienne d'Eclairage et de Force, soit 787 500 fr ; le bénéfice du service des installations, le revenu du portefeuille et les produits divers, soit 3 millions 378 426,64 fr. On obtient un total de 31 841 981,85 fr.

Les charges obligataires et sociales se montent à 5 millions 488 658,71 fr auxquelles il y a lieu d'ajouter : amortissement sur le compte acquisition des fonds de commerce de l'exploitation de Rouen (12e annuité), 296 836 fr ; amortissement sur divers chapitres de premier établissement, 8 538 889,80 fr; à titre de provision pour fluctuation des cours du portefeuille, 994 133,35 fr correspondant à un amortissement partiel sur les actions souscrites en vue de les ramener, comme précédemment, à leur valeur nominale; amortissement sur les frais d'augmentation de capital, 653 272,30 fr; constitution d'une réserve extraordinaire, 2 540 892,15 fr; et à titre de dotation au compte renouvellement et grosses réparations, 5 947 229 fr.

Sur le bénéfice net de 7 382 070,54 fr il est prélevé : la réserve légale, 5 pour 100 sur 7 382 070,54 fr, 369 103,53 fr.

Par suite, il reste 7 012 967,01 fr qui seraient répartis comme il suit : premier dividende de 6 pour 100 aux actions numérotées de 1 à 90 000, 2 700 000 fr; premier dividende de 6 pour 100, prorata temporis, aux actions numérotées de 90 001 à 110 000, 403 000 fr.

Sur le surplus des bénéfices, soit 3 909 967,01 fr, il est attribué 10 pour 100 au conseil d'administration, soit 390 996,70 fr.

Le solde, de 3 518 970,31 fr, augmenté du report à nouveau de l'exercice précédent, soit 1 105 306,33 fr, donne un total de 4 624 276,64 fr sur lequel est distribué un dividende de 7 pour 100 aux actions numérotées de 1 à 90 000, soit 3 150 000 fr; un dividende de 7 pour 100, prorata temporis, aux actions numérotées de 90 001 à 110 000, soit 593 000 fr.

Il reste une somme de 881 276,44 fr qui est reportée à nouveau.

La prime afférente à la dernière augmentation de capital représentait 14 500 000 fr sur laquelle il y aurait lieu de prélever la somme nécessaire pour égaliser la jouissance des actions anciennes (nos 1 à 90 000) et des actions nouvelles (nos 90 001 à 110 000) à compter du 1er janvier 1929, soit 130 000 fr.

Il reste une somme de 14 370 000 fr figurant au compte primes sur augmentations de capital. Le solde dudit compte ressort ainsi à 24 959 107,85 fr, montant du prélèvement destiné à être incorporé au capital social.

Le dividende est payable, à partir du 15 mai 1930, sous déduction des impôts, et contre remise du coupon n° 17, à raison de 65 fr par action ancienne numérotée de 1 à 90 000, et de 56,30 fr par action nouvelle numérotée de 90 001 à 110 000.

Bilan au 31 décembre 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Frais relatifs à l'augmentation du capital	653 272,35
Usines, sous stations et postes de transformation :	
Terrains et bâtiments	12 454 903,84
Machines et installations fixes	26 844 708,58
Réseau de distribution aérien et souterrain	37 249 018,42
Gros et petit outillage	109 432,85
Compteurs et appareils en location	1 089 562,39
Installations téléphoniques	1 »
Mobilier de bureau	1 »
Acquisition des fonds de commerce de l'exploitation de Rouen	4 452 540,82
Frais de mise en marche, indemnités et divers	1 »
Cautionnements déposés par la compagnie	49 214,85
Approvisionnements et marchandises en magasin	6 896 635,64
Espèces en caisses et en banques	41 978 223,06
Titres en portefeuille	19 585 833,15
Débiteurs divers et comptes d'ordre	20 796 959,59
Primes de remboursement et frais d'émission d'obligations	2 922 096,40
	175 082 405,94

Passif.

	fr
Capital : 110 000 actions de 500 fr	55 000 000 »
Obligations de 500 fr 5 pour 100	13 572 000 »
Obligations de 500 fr 6 pour 100	25 810 000 »
Réserve légale	1 476 092,70
Primes sur augmentation du capital	25 089 107,85
Amortissement par remboursement d'obligations	8 910 248,20
Renouvellement et grosses réparations	13 564 220,17
Participation des collectivités aux travaux d'électrification rurale	5 964 552,25
Réserve extraordinaire	2 540 892,15
Créditeurs divers et comptes d'ordre	13 696 112,52
Coupons à payer et obligations à rembourser	971 803,23
Profits et pertes :	
Reliquat du précédent exercice	1 105 306,33
De l'exercice 1929	7 382 070,54
	175 082 405,94

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Décret instituant un Comité supérieur de Normalisation.

Ce décret, en date du 24 avril 1930, a été publié au « Journal officiel » du 1er mai, pages 4 843 à 4 845. Son texte est précédé d'un rapport du ministre du Commerce et de l'Industrie dans lequel celui-ci expose les motifs qui l'ont incité à rendre ce décret. Nous reproduisons ci-dessous le texte de ce rapport et celui du décret.

A. **Rapport au Président de la République.** — Par décret en date du 10 juin 1918, il a été créé, au Ministère du Commerce et de l'Industrie, une Commission permanente de Standardisation dont la mission était de réaliser l'unification des conditions de fabrication et des conditions de réception des produits manufacturés utilisés dans la construction.

En moins de six ans, sous l'active impulsion de son président, M. Etienne Clémentel, la Commission permanente de Standardisation a établi 87 projets de fascicules, dont 54 ont été transformés en fascicules définitifs, réalisant ainsi les espoirs qu'on avait mis en elle. Mais comme elle ne disposait d'aucun moyen financier et que les concours bénévoles se faisaient de plus en plus rares, elle s'est trouvée, au milieu de 1924, dans l'obligation de suspendre ses travaux.

Depuis cette époque, la normalisation, mot français qui tend à remplacer l'expression anglo-saxonne de standardisation, a pris dans tous les pays un essor considérable.

Son domaine est excessivement vaste, beaucoup plus que celui qui était assigné par le décret du 10 juin 1918 à la Commission permanente.

C'est ce qu'ont fort bien compris les grandes nations industrielles telles que les Etats-Unis, l'Allemagne et l'Angleterre. Elles ont marché hardiment dans cette voie et ont normalisé non seulement les produits manufacturés utilisés dans la construction, mais encore un nombre considérable d'objets de consommation courante. Elles se sont ensuite appliquées à faire adopter leurs normes par les pays industriellement plus jeunes, au grand détriment de l'exportation française. Pour obtenir ce résultat, elles n'ont pas hésité à dépenser des sommes très importantes.

En France, l'idée de normalisation a fait également de grands progrès. Devant le silence forcé de la Commission permanente de Standardisation dû au défaut de crédits, des initiatives privées se sont fait jour. De nouvelles normes ont été élaborées et les anciennes ont été perfectionnées dans les industries électrique, mécanique et automobile notamment.

Ces efforts individuels présentent un grave danger. Les divers organismes s'occupant de normalisation s'ignorent, pour la plupart, et ces études sans idées directrices, sans liens d'ensemble, peuvent conduire à des résultats disparates et parfois opposés. De plus, certaines normalisations sont d'ordre général et n'intéressent pas exclusivement telle ou telle industrie.

Le Ministère du Commerce et de l'Industrie a suivi avec la plus grande attention ces efforts privés qui témoignaient de façon éclatante l'intérêt pris par les particuliers à l'œuvre de normalisation et qui prouvaient l'adhésion spontanée des intéressés à ces principes nouveaux, qui ont contribué à la fortune de certains de nos concurrents et particulièrement des Etats-Unis.

Parallèlement, d'ailleurs, le Ministère de la Guerre ne se lassait pas de rappeler le rôle considérable réservé à la normalisation dans l'éventualité d'un nouveau conflit, grâce à l'utilisation immédiate, par le jeu des réquisitions, de tous les objets normalisés en usage à la fois chez les particuliers et dans les corps de troupe, et grâce à l'adaptation rapide d'un outillage moderne permettant les fabrications en grande série aux industries de guerre, canons, projectiles, explosifs, matériels de toute sorte.

Le ministre du Commerce et de l'Industrie s'est rendu compte très rapidement de l'extrême danger que feraient courir à l'industrie française, sur les marchés intérieur et extérieur, des réglementations fragmentaires entreprises sans qu'une idée d'ensemble dirigeât ces travaux et sans qu'un esprit large traçât les lignes générales de la voie à suivre. Il a vu également tout le parti à tirer de ces bonnes volontés. Les normes, en effet, ne peuvent être imposées : elles sont nécessairement établies par les industriels, d'accord avec les intermédiaires et les consommateurs, et leur élaboration est du domaine privé.

Ce furent ces observations, ainsi que le développement de la normalisation à l'étranger, qui ont incité le Ministère du Commerce et de l'Industrie à faire revivre, à partir de l'an dernier, l'ancienne Commission permanente de Standardisation, et qui l'ont guidé dans le rôle plus précis à lui fixer.

La tâche du Ministère du Commerce et de l'Industrie fut facilitée par la création d'un organisme privé, l'Association française de Normalisation dont le but était de centraliser tout ce qui concerne la normalisation et de représenter la France dans les réunions et congrès internationaux.

Le Ministère du Commerce et de l'Industrie s'est efforcé tout d'abord de réaliser l'accord entre cette association et les groupements dissidents. Puis, dans une série de conférences auxquelles ont participé un représentant du Ministère du Commerce et de l'Industrie, le président, les deux vice-présidents de la Commission permanente de Standardisation, le président et les principaux membres de l'Association française de Normalisation, ainsi qu'un certain nombre d'industriels, furent établies les bases d'une organisation nouvelle, susceptible néanmoins de fonctionner dans le cadre du décret du 10 juin 1918.

Le mandat des membres de la Commission permanente de Standardisation, nommés pour cinq ans, étant expiré, cette commission a été, après consultation des ministères et organismes intéressés, reconstituée sous la présidence de M. Etienne Clémentel, par un arrêté en date du 31 octobre 1928 (1).

Enfin, une instruction du ministre du Commerce et de l'Industrie, publiée dans le « Journal officiel » du 1er décembre 1928 (2) a précisé le rôle de chacun des organismes participant à l'œuvre de normalisation.

Ces organismes sont :

1° Les bureaux de normalisation des syndicats de producteurs qui, travaillant en contact étroit avec les usagers, sont les agents techniques de l'élaboration des normes ;

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 11 novembre 1928, t. XXIV, p. 145 B.

(2) *Idem*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 959-960.

2° L'Association française de Normalisation qui groupe, aide, guide et représente les bureaux de normalisation ;

3° La Commission permanente de Standardisation qui a un rôle de direction, d'arbitrage et d'homologation.

Les pouvoirs publics peuvent avoir une influence décisive sur le développement de la normalisation, car les différentes administrations constituent une catégorie de clients très importante. L'homologation des normes par la Commission permanente de Standardisation se transforme en une sanction tangible dès que celles-ci deviennent la règle exigée par tous les services de tous les départements ministériels pour leurs adjudications de fournitures et de travaux.

Les ministères intéressés ne sont aucunement liés par le vote de la Commission permanente de Standardisation. Mais, ayant participé à tous les travaux concernant l'élaboration et l'adoption des normes, ils ont la possibilité de prendre très rapidement une décision qu'ils feront connaître au Département du Commerce et de l'Industrie, soit qu'ils acceptent intégralement les conclusions de la Commission permanente, soit qu'ils demandent pour leurs besoins particuliers des modifications (additions ou restrictions) aux règles générales établies.

La Commission permanente de Standardisation, reconstituée dans le cadre de l'ancien décret, avait, avec ses 24 membres, une représentation forcément limitée des différents départements ministériels, de même qu'une participation restreinte des personnalités du monde industriel.

Par l'ampleur même de la tâche entreprise, par les suggestions nombreuses reçues de toutes parts et dans les domaines les plus opposés, il m'est apparu que le cadre dans lequel venait d'être reformée la Commission permanente de Standardisation — celui du décret du 10 juin 1918 — était trop étroit et avait besoin d'être considérablement élargi, d'une part, pour étendre sa compétence à tous les domaines de l'activité économique et, d'autre part, pour lui assurer toutes les collaborations nécessaires ainsi qu'une représentation suffisante des divers ministères, tous intéressés dans une proportion variable à l'œuvre entreprise.

Il m'a paru également opportun de donner à la commission ainsi transformée le nom de Comité supérieur de Normalisation plus conforme à la terminologie actuellement adoptée en France.

Cette nécessité d'un remaniement de la Commission permanente de Standardisation n'avait d'ailleurs pas échappé à la commission elle-même puisque, lors de ses réunions des 27 juin 1929 et 28 février 1930, elle demandait :

1° Que le nombre de ses membres fût augmenté de manière que toutes les branches de l'activité économique fussent représentées ;

2° Que néanmoins ce nombre ne depassât pas soixante-dix ou quatre-vingts ;

3° Que son nom fût changé en celui de Comité supérieur de Normalisation.

J'ai l'honneur, en conséquence, de présenter à votre signature le projet de décret ci-joint.

B. **Décret.** — Le Président de la République française,

Sur le rapport du ministre du Commerce et de l'Industrie,

Vu le décret du 10 juin 1918 (1) instituant la Commission permanente de Standardisation ;

Vu le décret du 11 janvier 1921 (2) modifiant les articles 2, 3, 4 et 5 du décret du 10 juin 1918 ;

Vu le décret du 24 avril 1923 modifiant l'article 2 du décret du 11 janvier 1921,

Décrète :

ARTICLE PREMIER. — Il est institué, auprès du Ministère du Commerce et de l'Industrie, un Comité supérieur de Normalisation. Ce comité se substitue à l'ancienne Commission permanente de Standardisation.

Il a pour mission :

1° De fixer les directives d'ordre général et scientifique qui devront être suivies dans l'établissement des diverses normalisations ;

2° D'arbitrer les conflits qui pourraient s'élever entre les organismes français s'occupant de normalisation ;

3° De conférer la sanction officielle aux normes qui lui seront proposées par l'Association française de Normalisation ;

4° D'étudier tous les problèmes intéressant la normalisation et notamment, s'il le juge utile, d'établir lui-même des fascicules de normalisation.

La compétence s'étend à toutes les industries et à toutes les fabrications.

ART. 2. — Le Comité supérieur de Normalisation comprend des représentants des administrations publiques et des grands groupements scientifiques, industriels et commerciaux. Ses membres sont nommés pour cinq ans par arrêté du ministre du Commerce et de l'Industrie, sur la proposition des ministres et organismes intéressés.

Le ministre du Commerce et de l'Industrie désigne le président et les quatre vice-présidents ; le président peut être choisi en dehors des membres du comité.

Il nomme également un secrétaire général et un secrétaire adjoint.

ART. 3. — Le Comité supérieur de Normalisation comprend :

Deux représentants de l'Académie des Sciences.
Un représentant du Ministère de l'Intérieur.
Un représentant du Ministère des Finances.
Un représentant du Ministère du Budget.
Quatre représentants du Ministère de la Guerre.
Quatre représentants du Ministère de la Marine.
Un représentant du Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts.
Trois représentants du Ministère des Travaux publics.
Quatre représentants du Ministère du Commerce et de l'Industrie.
Un représentant du Ministère de l'Agriculture.
Un représentant du Ministère des Colonies.
Un représentant du Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale.
Quatre représentants du Ministère de l'Air.
Un représentant du Ministère des Postes, Télégraphes et Téléphones.
Un représentant du Ministère de la Marine marchande.
Deux représentants du Sous-Secrétariat d'Etat de l'Enseignement technique et des Beaux-Arts.
Trois représentants du Comité consultatif des Arts et Manufactures.
Un représentant de l'Assemblée des Présidents des Chambres de Commerce de France.
Un représentant de l'Assemblée des Présidents des Chambres d'Agriculture de France.
Un représentant de l'Institut d'Organisation commerciale et industrielle.
Deux représentants de l'Association française de Normalisation.
Deux représentants de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.
Deux représentants de la Société des Ingénieurs civils de France.
Un représentant de la Société française des Electriciens.
Un représentant de la Société de l'Industrie minérale.
Un représentant du Comité électrotechnique.
Un représentant de la Fédération des Sociétés françaises d'Architectes.
Un représentant des grands réseaux de chemins de fer.
Le directeur du Bureau Véritas.

Le ministre du Commerce et de l'Industrie désigne également, pour faire partie du comité, les représentants des principaux groupements industriels et commerciaux intéressés à la normalisation.

ART. 4. — Le Comité supérieur de Normalisation constituera dans son sein des sous-commissions qui seront chargées d'étudier et de rapporter devant lui les questions qui seront soumises à son examen.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 30 juillet 1918, t. IV, p. 65-66
(2) *Idem*, 19 février 1921, t. IX, p. 264.

Ces sous-commissions pourront s'adjoindre, après entente avec le président du comité, toutes personnalités dont le concours paraîtra utile.

Eventuellement, elles pourront désigner certaines de ces personnalités pour participer, avec voix consultative, aux réunions plénières du comité.

ART. 5. — Les ministres intéressés recevront du ministre du Commerce et de l'Industrie les normes homologuées par le comité.

Ils feront connaître au ministre du Commerce et de l'Industrie les décisions motivées qu'ils prendront: acceptation, réserves ou rejet; et pourront, le cas échéant, demander qu'il soit procédé à une étude complémentaire.

ART. 6. — Le présent décret abroge les décrets des 10 juin 1918, 11 janvier 1921 et 24 avril 1923.

ART. 7. — Le ministre du Commerce et de l'Industrie, le président du Conseil, ministre de l'Intérieur, le ministre des Finances, le ministre du Budget, le ministre de la Guerre, le ministre de la Marine, le ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, le ministre des Travaux publics, le ministre de l'Agriculture, le ministre des Colonies, le ministre du Travail et de la Prévoyance sociale, le ministre de l'Air, le ministre des Postes, Télégraphes et Téléphones, le ministre de la Marine marchande sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 24 avril 1930.

Arrêt de la Cour de Cassation déclarant non passibles de l'impôt les sommes reçues par les porteurs de parts de fondateurs pour le rachat de ces parts.

La Société des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey ayant effectué le rachat de ses parts de fondateurs, l'Administration de l'Enregistrement prétendit soumettre à l'impôt sur le revenu des capitaux mobiliers les sommes ainsi versées. Un jugement du Tribunal civil de Nancy en date du 16 mai 1926 annula la contrainte décernée par l'Administration; celle-ci se pourvut en cassation.

Par arrêt du 2 avril 1930, la Chambre civile de la Cour de Cassation a rejeté ce pourvoi. Voici le texte de cet arrêt.

Attendu que des constatations du jugement attaqué, il résulte que les Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de Pompey, société anonyme au capital initial de 11 millions de francs, divisé en 22 000 actions, a, en 1922-1923, porté son capital à 35 millions, par émissions successives d'actions nouvelles de 500 fr, avec une prime de 30 fr ; qu'en avril 1923, 30 000 actions ont été ainsi émises et souscrites; que le quart a été versé avec la prime, soit 155 fr par titre souscrit ;

Attendu que la société avait, d'autre part, décidé de rembourser des parts de fondateurs, au nombre de 1 000, auxquelles étaient statutairement attribués 25 pour 100 des bénéfices nets annuels; que la valeur de ces titres, fixée à 1 fr lors de leur création, a été, d'après les règles posées par les statuts en vue du rachat, portée à 762,15 fr ; que le remboursement a eu lieu après le premier versement sur les actions nouvelles à l'émission desquelles avaient d'ailleurs souscrit les porteurs de parts; que c'est au moyen de cette émission que le remboursement a été effectué ;

Attendu que les termes généraux et absolus des articles 1er et suivants de la loi du 19 juin 1872 soumettent, sans doute, à une taxe élevée à 10 pour 100 par la loi du 25 juin 1920 la distribution sous quelque forme qu'elle ait lieu de tous les produits et bénéfices réalisés par les sociétés, sans distinction, à raison soit de l'origine, soit de la nature de ces produits, mais que le prix de rachat, en l'espèce, ne saurait donner ouverture à l'impôt, puisqu'il ne s'agit pas d'un bénéfice réalisé par la société défenderesse et distribué ensuite entre ses membres; que le seul fait de l'existence au moment du rachat de réserves importantes ne permet pas, à défaut de tout autre élément précis et certain et le chiffre des réserves accumulées étant demeuré le même, de dire avec le pourvoi que l'opération s'analyse en une distribution indirecte des bénéfices sociaux ;

Attendu dès lors qu'en annulant la contrainte décernée pour avoir payement de la taxe contestée, le Tribunal de Nancy n'a pas violé les textes visés au pourvoi;

Par ces motifs, rejette.

Sur la déduction des bénéfices industriels de la valeur locative des immeubles appartenant à l'industriel.

Le « Journal officiel » du 23 mai 1930 publie, page 2 341 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

8 030. — M. Jean Taurines demande à M. le ministre des Finances : 1° Quelles sont les déductions auxquelles peuvent prétendre pour leur imposition à la cédule sur les professions commerciales, les industriels, propriétaires des immeubles dans lesquels ils exploitent leur industrie, en tant qu'amortissements et déduction du revenu net de leurs immeubles; ajoute : *a*) que certains agents de l'Administration prétendent que la déduction totale ne peut dépasser le montant de la valeur locative des immeubles telle qu'elle a été fixée pour l'assiette de la contribution foncière ; *b*) qu'en particulier, une société dont l'usine imposée à la contribution foncière pour un revenu net de 30 000 fr (valeur locative 50 000 fr) et qui pratique chaque année un amortissement de 60 000 fr (5 pour 100 du prix de revient), n'a pu obtenir que 50 000 fr de déduction de son bénéfice commercial (30 000 revenu net plus 20 000 amortissements), tandis qu'elle paraît en droit de déduire 90 000 fr (30 000 revenu net plus 60 000 amortissements); *c*) que la théorie limitant la déduction totale à la valeur locative cadastrale paraît contraire à toutes les décisions administratives précédentes qui admettent toutes la déduction des amortissements normaux et du revenu net des immeubles ; 2° Comment cette théorie pourrait, d'ailleurs, se concilier avec la décision récente de l'Administration relative à la revalorisation des immobilisations et des amortissements. (Question du 8 mars 1930.)

Réponse. — Les commerçants et industriels qui sont propriétaires des immeubles affectés à leur exploitation peuvent, pour la détermination de leur bénéfice imposable, retrancher à leur choix, du solde de leur compte de profits et pertes, soit la valeur locative cadastrale de ces immeubles, soit le revenu net qui leur a été assigné pour l'assiette de la contribution foncière. Dans le premier cas, la valeur locative englobant toutes les charges immobilières, aucun amortissement ne peut être admis concurremment en déduction. Lorsqu'au contraire, les intéressés optent pour la déduction du revenu net, les amortissements régulièrement pratiqués doivent être maintenus dans les frais généraux de l'entreprise, sans qu'il y ait lieu de distinguer suivant que leur montant, augmenté du revenu net, excède ou non la valeur locative cadastrale des immeubles auxquels ils s'appliquent.

Sur les délais dans lesquels doit être acquittée la taxe sur le chiffre d'affaires.

Le « Journal officiel » du 23 mai 1930 publie, page 2 351 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8 512. — M. Schneider demande à M. le ministre des Finances : 1° quel est le délai normal dans lequel un commerçant doit s'acquitter de la taxe sur le chiffre d'affaires ; 2° si ce délai est le même pour tous les commerçants ou s'il est variable suivant certaines conditions ; 3° lesquelles ?

Réponse. — Le payement de l'impôt sur le chiffre d'affaires doit, en principe, être effectué au moment même du dépôt du relevé mensuel. A cet égard, l'article 13 du décret portant règlement d'administration publique en date du 25 juillet 1920, relatif à l'application de l'article 67 de la loi du 25 juin 1920 (article 10 du décret de codification du 28 décembre 1928), précise que « le directeur départemental de l'Administration qui a qualité pour recevoir le relevé du chiffre d'affaires répartit les redevables en catégories et fixe, pour chaque catégorie, la période du mois durant laquelle ceux-ci doivent remettre ou envoyer le relevé des affaires qu'ils ont effectuées » et, par conséquent acquitter l'impôt. Dans les campagnes, le service, en vue de faciliter aux redevables l'accomplissement de leurs obligations, se tient à leur disposition dans les mairies à certains jours déterminés; 2° et 3° Toutefois, les redevables sous réserve qu'ils remplissent à cet égard les conditions requises, ont le moyen de s'acquitter trimestriellement en se plaçant soit sous le régime des acomptes provisionnels, système de payement basé provisoirement sur le chiffre des affaires de l'année précédente avec règlement définitif dans les premiers mois de l'année suivante, soit sous le régime du forfait. On ajoute que par mesure de tolérance, dans les circonscriptions où le nombre des communes exercées et celui des assujettis sont élevés, les redevables dont les cotes mensuelles ne dépassent pas 50 fr sont admis à se libérer tous les 3 mois.

Sur la non-imposition comme revenus des dommages et intérêts alloués à un inventeur pour contrefaçon.

Le « Journal officiel » du 23 mai 1930 publie, page 2 350 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8 408. — M. Jean Taurines demande à M. le ministre des Finances si l'Administration des Contributions directes est fondée à considérer comme imposables à la cédule sur les bénéfices de professions non commerciales les dommages et intérêts alloués par les tribunaux à un inventeur pour contrefaçon de son brevet, et, dans l'affirmative, sous quelles déductions et au titre de quelle année doit être établie l'imposition; ajoute que, dans le cas précité, l'inventeur n'ayant retiré de son brevet aucun avantage que la réparation accordée par le tribunal, il paraîtrait normal de considérer cette réparation comme un capital et non comme des revenus. (Question du 29 mars 1930.)

Réponse. — Si, comme il paraît résulter de l'exposé de la question, l'inventeur dont il s'agit n'exploite pas son brevet, la somme qui lui a été allouée à titre de dommages et intérêts pour contrefaçon de son invention ne constitue pas un revenu passible de l'impôt sur les bénéfices des professions non commerciales.

Sur les formalités à remplir pour recevoir en franchise les marchandises exportées puis retournées à l'expéditeur.

Le « Journal officiel » du 23 mai 1930 publie, page 2 348 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

8 315. — M. Grinda demande à M. le ministre des Finances, comme suite à ses questions n° 5819, du 7 novembre 1929, et n° 7 462, du 3 février 1930, quelles formalités ont à remplir les exportateurs pour recevoir en franchise de droits de douane les marchandises qui leur sont retournées de l'étranger : *a*) pour refus de payement; *b*) pour réparations; *c*) pour non vente par les consignataires à qui elles ont été envoyées en dépôt. (Question du 25 mars 1930.)

Réponse. — Dans les premier et troisième cas, les exportateurs doivent produire à l'appui de la déclaration d'entrée un extrait sur timbre de leur registre de vente ou de consignation à l'étranger, certifié conforme par un magistrat ou officier public. S'il s'agit de produits susceptibles d'avoir bénéficié d'un drawback à la sortie ou d'avoir été fabriqués avec des matières premières d'origine étrangère admise temporairement en franchise sous le régime de l'acquit-à-caution ou de la soumission cautionnée, leur réimportation en franchise est, en outre, subordonnée à la présentation d'un certificat d'exportation en simple sortie, dont la délivrance doit être démandée au bureau de douane d'exportation. Dans le second cas, les intéressés ont à solliciter des chefs locaux, par une requête établie sur papier timbré, l'admission temporaire en franchise. Toutefois, lorsqu'il s'agit de machines ou appareils, ainsi que de leurs pièces détachées de fabrication française, qui sont réimportés de Suisse pour être réparés en France et ensuite réexportés, l'admission temporaire en franchise est accordée sans autorisation préalable. En toute hypothèse, les intéressés doivent souscrire, au bureau d'entrée, conjointement avec une caution agréée par le receveur des douanes, une déclaration-soumission portant engagement de réexporter les objets, après réparation, dans un délai n'excédant pas six mois.

Sur les frais incombant aux propriétaires d'embranchements industriels lors de l'électrification de la ligne principale de chemin de fer.

Le « Journal officiel » du 23 mai 1930 publie, page 2 368 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8 848. — M. Charles Guilhaumon demande à M. le ministre des Travaux publics si, en raison de l'électrification des voies d'une gare, une compagnie de chemins de fer peut mettre à la charge du propriétaire d'un embranchement particulier, desservi par cette gare, les frais d'électrification de la voie d'accès audit embranchement et, par suite, les frais d'entretien de l'installation électrique. (Question du 23 avril 1930.)

Réponse. — Les embranchements particuliers desservis par les réseaux d'intérêt général sont régis par l'article 62 des cahiers des charges de ces réseaux, lequel stipule notamment que : « Les embranchements seront construits aux frais des propriétaires de mines et d'usines, et de manière qu'il ne résulte de leur établissement aucune entrave à la circulation générale, aucune cause d'avarie pour le matériel, ni aucuns frais particuliers pour la compagnie. L'Administration pourra, à toute époque, prescrire les modifications qui seraient jugées utiles dans la soudure, le tracé ou l'établissement de la voie desdits embranchements, et les changements seront opérés aux frais des propriétaires. » Se basant sur ces textes, une compagnie de chemins de fer peut donc être amenée à demander au propriétaire d'un embranchement les travaux nécessaires pour électrifier la partie de cet embranchement située sur le domaine public du chemin de fer si la ligne principale dont il se détache est elle-même électrifiée.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 2. — 12 JUILLET 1930.

Chronique. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Session de juin 1930, p. 41. — Nécrologie : S.-Z. de Ferranti, p. 42. — Bibliographie : Deux heures de physique (Electrostatique), par P. BIQUARD et F. JOLIOT, p. 42 ; Des atteintes à la propriété à raison des travaux publics, notamment pour la production et la distribution d'énergie électrique, par Ch. BLAEVOET, p. 42.

Section scientifique et technique. — Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones (*suite et fin*), par Ch. GALMICHE, p. 43. — Revues, analyses et informations : Conversion statique de fréquence et harmoniques, p. 58 ; La nature du frottement (triboélectricité), p. 60.

Section industrielle. — Le problème des huiles isolantes en électrotechnique, par H. WEISS et T. SALOMON, p. 61. — Revues, analyses et informations : Utilisation des isolateurs de traversée pour les mesures industrielles, p. 73.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie d'Entreprises hydrauliques et de Travaux publics, p. 75 ; Forges et Ateliers de Constructions électriques de Jeumont, p. 75.

Section de législation. — La désignation des pièces détachées, par FERNAND-JACQ, p. 77.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Session de juin 1930. — Les séances mensuelles du Comité de Normalisation de la Mécanique (92, rue de Courcelles, Paris) et de ses commissions d'études, ont eu lieu du 16 au 29 juin dernier.

La Commission d'Etudes des Filetages a poursuivi l'étude de la normalisation des vis à bois, qui est à l'ordre du jour du Congrès international de septembre, et a examiné les résultats des échanges de vues internationaux de mai sur les questions de rivets et d'ouvertures de clés. Elle a accepté pour publication définitive la norme d'axes et rondelles d'axe et celle concernant le repérage des pièces filetées à gauche. Enfin, elle a commencé l'étude de la très importante question des tolérances de filetages.

La Commission d'Etudes des Tuyauteries, qui va publier sous quelques jours la norme des dimensions de raccordement des brides et a soumis à enquête publique la simplification des filetages et tubes au pas du gaz et des tubes sans soudure du commerce (1), doit soumettre prochainement à enquête les normes donnant les différents types de brides. Ses études se poursuivent au sein des sous-commissions des « tubes » (qui préparent en particulier un projet de conditions de réception des tubes, en vue du congrès international de septembre) et des raccords filetés, auxquelles s'adjoindra prochainement une sous-commission des raccords d'arrosage. Au programme de ses prochains travaux, relevons l'étude de l'extension aux grandes dimensions de la norme des dimensions de raccordement des brides, l'étude d'une normalisation plus vaste pouvant englober dans l'avenir et remplacer toutes les normes déjà existantes, etc.

La Commission d'Etudes du petit Outillage a examiné le programme de travail international élaboré à la réunion internationale de mai, et décidé de poursuivre ses études relatives à la question des forets, mise en première urgence dans ce programme. Elle a étudié ensuite en détail une proposition de la Chambre syndicale des Industries métallurgiques du Rhône pour la normalisation des divers types d'outils de tours.

La Commission d'Etudes des Eléments de Machines a décidé de publier les normes d'allures de marche des machines, de poulies de transmission, de rainures à T, et de supports d'outils pour tours et autres machines. Elle a examiné la dernière proposition de simplification des arbres cannelés présentée par le Bureau de Normalisation de l'Automobile, et décidé de soumettre à enquête publique l'étude de la Chambre syndicale des Machines agricoles sur la vitesse des moteurs agricoles. Elle a mis au programme de ses travaux certains types de poignées, les brides de moteurs à flasque-bride, les chaînes d'appareils de levage, etc.

La Commission des Dessins techniques a réglé le programme de ses travaux ultérieurs sur le programme international établi au congrès du mois de mai à Paris et dont l'étude a été confiée pour une part à la France.

En ce qui concerne les machines textiles, les constructeurs se sont rencontrés avec les filateurs de laine peignée et ont étudié un programme pour la normalisation des éléments et accessoires des gills.

Enfin, le Comité de Normalisation de la Mécanique a

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 24 mai 1930, t. XXVII, p. 802.

examiné diverses questions relatives à l'organisation générale de la normalisation en France, en préparation de la séance du 21 juin du Comité supérieur de Normalisation et s'est occupé de la préparation du Congrès international de septembre 1929, à Vienne, et en particulier de la très importante question des diamètres normaux, mise à l'ordre du jour de ce congrès.

Nécrologie : S.-Z. de Ferranti. — Dans le courant du mois de janvier dernier décédait S.-Z. de Ferranti, bien connu dans le monde des électriciens.

Né à Liverpool en 1864, il manifesta de très bonne heure un goût et des aptitudes marqués pour la mécanique. En 1878, après trois années passées au St Augustine's College, à Ramsgate, il construisit sa première dynamo; pratiquement, elle tenait de l'anneau de Paccinotti, quoique de Ferranti n'eût jamais entendu parler de ce dernier. Il suivit ensuite les cours à l'University College de Londres, dirigé par le professeur Carey Foster et le docteur (aujourd'hui Sir) Oliver Lodge. Dès lors, l'activité de de Ferranti se manifesta dans tous les domaines de l'électrotechnique; c'est ainsi qu'il créa successivement un modèle d'alternateur, en 1882, un modèle de compteur d'énergie à mercure fonctionnant en courant continu, en 1883, et un modèle de transformateur en 1885. Ces modèles firent l'objet de brevets déposés par de Ferranti; ajoutons que le principe du compteur de de Ferranti est celui sur lequel sont établis les compteurs utilisés aujourd'hui encore presque partout.

En 1886, il fut appelé, comme ingénieur en chef, à s'occuper d'un système de distribution pour la Grosvenor Gallery. Après de nombreuses vicissitudes, il arriva à mettre sur pied une partie d'un projet imposant pour l'époque : il adopta un système de transmission d'énergie par courants alternatifs à 10000 v, malgré les prescriptions du Board of Trade. On sait quelles controverses provoqua cette décision entre partisans du courant continu et ceux du courant alternatif pour la transmission de l'énergie. Il eut encore à s'occuper de la fabrication des câbles qui n'était pas encore au point pour des tensions relativement élevées.

Si l'on songe aux difficultés que de Ferranti eut à vaincre pour faire adopter son point de vue dans le domaine naissant de l'électrotechnique, on ne peut qu'admirer ses méthodes qui se sont imposées et sont devenues d'un usage courant actuellement.

Président de l'Institution of electrical Engineers en 1910 et 1911, il fut nommé docteur honoris causa de l'Université de Manchester en 1911. L'Institution of electrical Engineers lui décerna la médaille de Faraday en 1924 et il fut élu membre, en 1927, de la Royal Society. Depuis mars 1921, il était membre du conseil d'administration de la British electrical and allied Manufacturers' Association.

Bibliographie : Deux heures de physique (Electrostatique), par P. Biquard et F. Joliot (1). — Dans la collection Fontenelle, les Editions Kra publient leur second volume consacré cette fois à l'électrostatique.

Les auteurs ont pensé avec juste raison qu'il était possible d'exposer au lecteur non spécialiste l'essentiel des phénomènes principaux de l'électrostatique. Il leur a paru indispensable, à cet effet, de faire comprendre les phénomènes élémentaires et de faire connaître avec rigueur la définition des grandeurs principales que le physicien est appelé à considérer.

Ce premier tome est consacré uniquement à l'étude de l'électrostatique et à celle de quelques grandeurs mécaniques. Les auteurs ont estimé, en effet, très important d'insister sur les grandeurs fondamentales : charge, champ, potentiel.

Dans cet exposé, débarrassé le plus qu'il a été possible de mathématiques, ils se sont efforcés de respecter le programme suivant : décrire les faits expérimentaux; définir, s'il y a lieu, les grandeurs nouvelles dont ces faits nécessitent la considération; exposer les lois mathématiques que l'expérience a permis d'établir entre ces grandeurs; interpréter ces lois en les incorporant dans une théorie des phénomènes étudiés, théorie qui est ensuite confrontée avec l'expérience.

Parmi les divers chapitres il y a lieu de signaler plus particulièrement celui relatif à l'étude élémentaire du potentiel électrique. — R. L.

Bibliographie : Des atteintes à la propriété à raison des travaux publics, notamment pour la production et la distribution d'énergie électrique, par Ch. Blaevoet, docteur en droit, lauréat de la Faculté de droit de Paris (2). — Voici un ouvrage qui donnera satisfaction tant aux juristes en quête de solutions pour des questions ardues qu'aux industriels soucieux de connaître les moyens pratiques de réaliser leurs installations d'énergie, de se défendre en cas d'obstruction et de faire respecter leurs droits en observant leurs obligations. A quel tribunal faut-il s'adresser et comment sont réglées les indemnités en cas d'atteinte à la propriété par les travaux publics, surtout pour la production ou pour la distribution de l'énergie électrique? Les textes sont insuffisants pour répondre et disparates; les juridictions hésitent. M. Blaevoet nous dit ce qu'elles décident et ce qu'elles devraient décider, par une subtile analyse. Quelles sont les prérogatives des entrepreneurs et comment triompher des résistances injustifiées? L'ouvrage l'explique tout au long, passant en revue les divers recours possibles. Enfin, comment rédiger les actes pour éviter des difficultés et quelle portée ont les autorisations de passage suivant leur teneur? Ce sont là des points que l'auteur a particulièrement étudiés; mais il en est bien d'autres que soulèvent l'application de l'article 12 de la loi du 15 juin 1906 et celle des articles 4, 5 et 6 de la loi du 16 octobre 1919 et qui n'ont pas échappé à M. Blaevoet. Ajoutons que des tables analytiques et alphabétiques très détaillées permettent de trouver immédiatement le renseignement désiré. L'auteur de cet ouvrage (est-il besoin de le rappeler à nos lecteurs?) est un de nos collaborateurs dont les études publiées dans cette revue, ainsi d'ailleurs que ses commentaire au Recueil Dalloz sont bien connus; et pour ceux qui ne le connaîtraient pas, la préface consacrée par M. le professeur Jèze, à cet ouvrage serait un sûr garant de sa valeur. — J. R.

(1) Un volume, format 21 cm × 14 cm, de 248 pages, avec 90 figures dans le texte, édité par les Editions KRA, 20, rue Henri-Regnault, à Paris (14e). Prix : broché, 15 fr.

(2) Un volume, format 23 cm × 14 cm, de 255 pages, édité par la librairie Marcel Giard, 16, rue Soufflot, à Paris (5e). Prix : broché, 40 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones (*Suite et fin*) (*)

V. **Méthodes et formules de calcul pratique.** — A. **Calcul des coefficients d'amortissement C_a.** — Les amortisseurs se comportent comme l'enroulement secondaire d'un moteur d'induction. On calcule d'abord le glissement g pour lequel l'alternateur, considéré à ce point de vue, donnerait un couple égal à son couple normal; il suffit pour cela de calculer les pertes par effet Joule dans l'amortisseur supportant des ampères-tours équivalents à ceux du stator (1) et d'effectuer le quotient

$$g = \frac{\text{Pertes par effet Joule dans l'amortisseur}}{\text{Puissance normale}}.$$

D'autre part, le couple de pleine charge de l'alternateur supposé triphasé, a pour expression

$$\frac{EI\sqrt{3}}{9{,}81 \times 2\pi n}, \text{ en mètres-kilogrammes,}$$

en désignant par n la vitesse normale en tours par seconde. Ce couple serait obtenu pour le glissement g, c'est-à-dire pour une vitesse angulaire de glissement $2\pi p\, ng$, en angles électriques par seconde, et, par conséquent, le couple obtenu pour une vitesse angulaire de glissement $p\frac{d\theta}{dt} - \frac{d\gamma}{dt}$, sera

$$\frac{EI\sqrt{3}}{9{,}81 \times 2\pi n} \times \frac{p\frac{d\theta}{dt} - \frac{d\gamma}{dt}}{2\pi p n g}.$$

En remarquant que pn est la fréquence f, on tire de là

$$C_a = \frac{EI\sqrt{3}}{9{,}81 \times 2\pi n \times 2\pi f g}.$$

B. **Couples synchronisants C_s.** — 1. Principe du calcul de ces couples. — Ce sont les coefficients à introduire dans les expressions $C_s(p\theta - \gamma)$, qui représentent le couple de rappel s'exerçant pour un écart angulaire électrique $p\theta - \gamma$. Les écarts angulaires étant supposés petits, voici comment peut s'effectuer le calcul de ces coefficients C_s.

Quelques remarques sont d'abord nécessaires : nous admettons que les excitatrices sont construites de façon à posséder une bonne stabilité ; sinon le problème devient plus complexe (voir note I). Le moteur d'entraînement de chaque alternateur est réglé de manière à fournir au réseau la puissance moyenne désirée. Le facteur de puissance du courant débité sur le réseau dépend de la nature de la charge et on excite les divers alternateurs de façon à répartir convenablement entre eux la production de puissance réactive. Il est donc naturel de prendre pour point de départ le courant I_k dans chaque alternateur et son déphasage φ_k par rapport à la tension U des barres collectrices.

Traçons alors le diagramme de Blondel de l'alternateur considéré ; on porte (fig. 1), en OA la tension U, en AB la chute de tension rI, en BC la tension de réactance xI (x désignant la réactance de fuites $l\omega$ du diagramme ordinaire de Potier, augmentée de la réactance des connexions) et en CD la force électromotrice correspondant à la composante transversale des ampères-tours de réaction d'armature. OD est la force électromotrice interne E. Sur la caractéristique à vide on trouve les ampères-tours inducteurs correspondant à cette force électromotrice interne ; on y ajoute les ampères-tours de réaction directe et on porte en OM la valeur de la force électromotrice qui correspond, sur la caractéristique, à cette somme d'ampères-tours ; OM peut être désignée sous le nom de force électromotrice nominale E_n. Le vecteur DM peut ainsi être con-

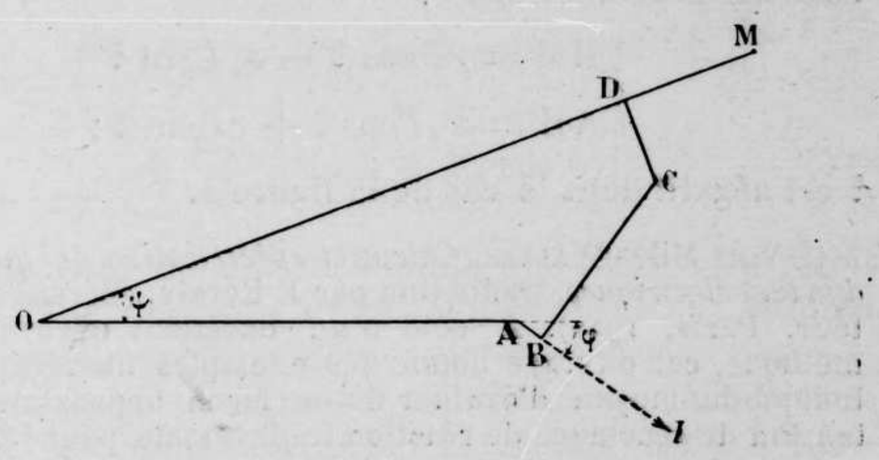


Fig. 1. — Diagramme de Blondel pour un alternateur.

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 5 juillet 1930, t. XXVIII, p. 3-13.

(1) Pour le calcul de ces ampères-tours, voir l'article de A. Mauduit ; Diagrammes comparatifs des courants et des flux des amortisseurs à cage et à grille. *Revue générale de l'Electricité*, 27 juillet 1929, t. XXVI, p. 131-140.

sidéré comme une tension de réactance correspondant à la réaction directe démagnétisante des ampères-tours d'armature.

Le diagramme fait connaître l'angle ψ de déphasage entre la force électromotrice interne E et la tension aux bornes U ; c'est l'angle qui est désigné par $p\theta - \gamma$ dans le texte de cet article. Le calcul du couple synchronisant peut alors s'effectuer souvent d'une façon très simple (1) et avec une bonne approximation en écrivant

$$C_s = \frac{C_n}{\psi},$$

où C_n désigne le couple de la machine dans le fonctionnement pour lequel on a tracé le diagramme et où l'angle ψ est mesuré en radians.

Ce procédé, toutefois, ne procure une approximation satisfaisante que lorsque l'angle ψ ne dépasse pas une valeur modérée, de l'ordre de 25 degrés électriques, et lorsque la puissance consommée par le réseau est relativement grande par rapport à celle qui est produite par chaque alternateur (voir la fin de ce chapitre). Il serait insuffisant, par ailleurs, dans le cas de machines synchrones soumises à des oscillations rapides ou possédant une fréquence propre relativement élevée. Pour ces raisons, nous allons exposer une méthode d'analyse applicable dans des circonstances plus générales.

On décompose (2) (fig. 2), le courant en ses deux composantes $I\cos\delta$ en phase avec la force électromotrice interne et $I\sin\delta$ en quadrature et de même, la chute de tension en ses deux composantes HM et AH suivant les mêmes directions.

Définissons maintenant deux coeficients, x_s de réactance directe et x'_s de réactance transversale, par les conditions géométriques.

$$\begin{cases} \mathrm{HM} = rI\cos\delta - x_s I\sin\delta \\ \mathrm{AH} = x'_s I\cos\delta + rI\sin\delta ; \end{cases}$$

δ est négatif dans le cas de la figure 2.

(1) Voir Miles Walker. *Calcul et spécification des machines dynamo-électriques*, traduction par J. Kéraly. (Béranger, éditeur, Paris, 1922). A côté d'un excellent exposé de la méthode, cet ouvrage donne des exemples numériques et indique le moyen d'évaluer d'une façon approximative la tension de réactance de réaction transversale pour les alternateurs de construction usuelle.

(2) A. Blondel. *Revue générale de l'Electricité*, 12 et 19 août 1922, t. XII, p. 203-212 et 235-244, et 17 février 1923, t. XIII, p. 235-251.

H.-V. Putman ; Synchronizing power in synchronous machines. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, décembre 1926, t. XLV, p. 1229. C'est à cet article que nous empruntons les notations utilisées ici pour les réactances, et le calcul de la puissance synchronisante dans le cas simple d'une seule machine branchée sur un réseau, qui est le cas examiné par M. Putman en application de la méthode de M. Blondel. Nous y avons ajouté la considération de la tension variable aux barres collectrices et le calcul de l'angle de phase γ de cette tension, qui ne sont plus des quantités constantes, parce que l'on a affaire ici à plusieurs machines au lieu d'une seule et d'un réseau.
R.-E. Doherty et C.-A. Nickle ; Synchronous machines. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, octobre 1926, t. XLV, p. 974.

Si on néglige la résistance, ces relations se réduisent à $\mathrm{HM} = -x_s I\sin\delta$, $\mathrm{AH} = x'_s I\cos\delta$, qui montrent que la réactance x_s est la somme de la réactance de fuites x et de la réactance équivalente à la réaction directe, et de même, que x'_s est la somme de la réactance x et de la réactance transversale caractéristique du diagramme de Blondel.

Les réactances x_s et x'_s sont donc pratiquement obtenues très simplement à partir du diagramme de

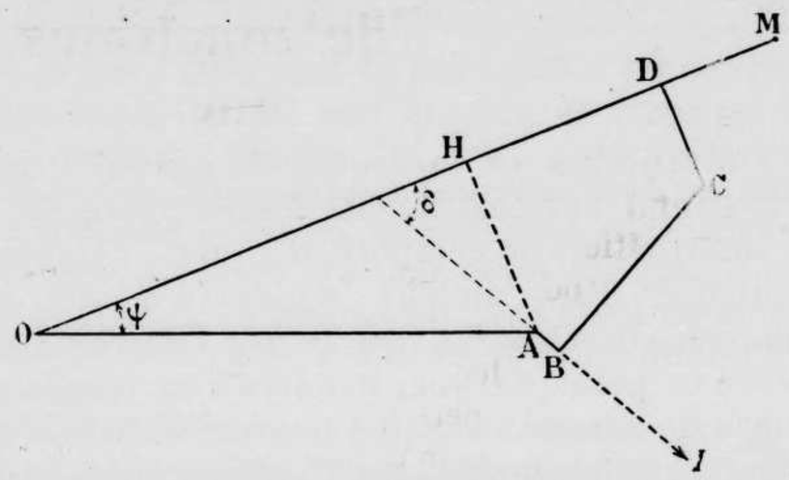


Fig. 2. — Diagramme montrant la décomposition de la chute de tension en ses composantes HM et AH.

Blondel et le même diagramme fait connaître en même temps l'angle ψ.

Il faut calculer maintenant le couple synchronisant. Adoptons pour phase de référence celle de la force électromotrice nominale $\mathrm{OM} = E_n$; en comptant les angles positivement dans le sens usuel, les angles ψ sont alors négatifs dans le cas d'un alternateur. Les expressions vectorielles du courant, de la tension et de l'impédance de l'alternateur (y compris ses connexions), sont par conséquent

$$\left.\begin{aligned} \overline{I} &= Ie^{j\delta} = I(\cos\delta + j\sin\delta) \\ \overline{U} &= Ue^{j\psi} = U(\cos\psi + j\sin\psi), \quad (\psi < 0) \\ \overline{Z} &= r + jx_s \end{aligned}\right\} \quad (26)$$

(x_s ou x'_s selon la composante du courant sur laquelle agit cette réactance). On a alors

$$\begin{aligned} \overline{E_n} &= Ue^{j\psi} + (r + jx_s)Ie^{j\delta} \\ &= U(\cos\psi + j\sin\psi) + I[(r\cos\delta - x_s\sin\delta) \\ &\qquad + j(x'_s\cos\delta + r\sin\delta)] \end{aligned} \quad (27)$$

d'où on tire

$$\left.\begin{aligned} I\cos\delta &= \frac{r(E_n - U\cos\psi) - x_s U\sin\psi}{r^2 + x_s x'_s} \\ I\sin\delta &= -\frac{rU\sin\psi + x'_s(E_n - U\cos\psi)}{r^2 + x_s x'_s} \end{aligned}\right\} \quad (28)$$

Formons l'expression de la puissance

$$P = \text{partie réelle de } Ue^{-j\psi} \times Ie^{j\delta} = UI\cos(\delta - \psi)$$

(à multiplier par $\sqrt{3}$ dans le cas des alternateurs triphasés). Il vient, en tenant compte de (28),

$$P = \frac{U^2}{r^2 + x_s x'_s}\left[- r - (x_s - x'_s)\sin\psi\cos\psi + \frac{E_n}{U}(r\cos\psi - x'_s\sin\psi)\right].$$

La puissance synchronisante s'en déduit,

$$P_s = \frac{\partial P}{\partial\psi} = -\frac{U^2}{r^2 + x_s x'_s}\left[(x_s - x'_s)\cos 2\psi + \frac{E_n}{U}(r\sin\psi + x'_s\cos\psi)\right]$$

Pour être exact, il faut ajouter à cette expression la dérivée $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial\psi}$. On verra à la fin de ce chapitre dans quelles circonstances ce terme peut être négligé. Pour ne pas surcharger cet exposé, nous ne donnons que plus loin l'expression de cette dérivée.

Le couple synchronisant est d'ailleurs

$$C_s = \frac{1}{9{,}81 \times 2\pi n} P_s \text{ en kilogrammes-mètres}$$

où P_s est donné en watts, n désignant le nombre de tours par seconde. Dans les formules ci-dessus, les angles ψ et $d\psi$ sont négatifs s'il s'agit d'un alternateur. Il est plus commode dans les applications d'avoir toujours à considérer l'angle ψ comme positif; il suffit pour cela de changer ψ en $-\psi$ et d'écrire par conséquent

$$P = \frac{U^2}{r^2 + x_s x'_s}\left[- r + (x_s - x'_s)\sin\psi\cos\psi + \frac{E_n}{U}(r\cos\psi + x'_s\sin\psi)\right], \qquad (29)$$

$$P_s = \frac{U^2}{r^2 + x_s x'_s}\left[(x_s - x'_s)\cos 2\psi - \frac{E_n}{U}(r\sin\psi - x'_s\cos\psi)\right], \qquad (30)$$

où ψ est positif pour un alternateur. Néanmoins, comme point de départ pour l'établissement des formules, au début des deux paragraphes suivants, nous nous en tiendrons à la convention adoptée plus haut pour les angles, afin d'éviter toute confusion.

Dans le cas d'un moteur, le diagramme (fig. 3) montre que, E_n étant encore pris comme vecteur origine, on a

$$\overline{U} = U e^{j(\pi+\psi)}$$

et la loi d'Ohm généralisée

$$\overline{U} = \overline{ZI} - \overline{E_n}$$

donne

$$E_n = -U e^{j(\pi+\psi)} + (r + j x_s) I e^{j\delta} = U e^{j\psi} + (r + j x_s) I e^{j\delta};$$

le diagramme indique que, dans le cas d'un moteur, l'angle ψ est positif.

Les composantes du courant sont donc encore don-

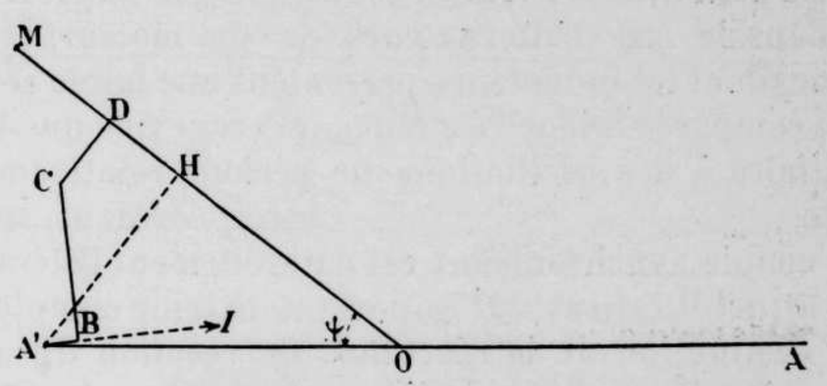


Fig. 3. — Diagramme de Blondel pour un moteur.

nées par les expressions (28), avec cette différence que ψ est positif. La puissance s'obtient en écrivant

$$P = \text{partie réelle de } U e^{-j(\pi+\psi)} I e^{j\delta}$$

et devient ainsi

$$P = \frac{U^2}{r^2 + x_s x'_s}\left[r + (x_s - x'_s)\sin\psi\cos\psi - \frac{E_n}{U}(r\cos\psi - x'_s\sin\psi)\right] \qquad (31)$$

avec ψ positif. On en déduit

$$P_s = \frac{U^2}{r^2 + x_s x'_s}\left[(x_s - x'_s)\cos 2\psi + \frac{E_n}{U}(r\sin\psi + x'_s\cos\psi)\right]. \qquad (32)$$

Pour avoir la puissance totale que fournit ou reçoit la machine, selon qu'il s'agit d'un alternateur ou d'un moteur, il convient d'ajouter ou retrancher aux expressions (29) et (31) les pertes par effet Joule dans l'armature et les connexions. Cette correction, facile à effectuer, est ordinairement négligeable.

2. Calcul de C_s en tenant compte de l'affaiblissement de la réaction directe. — Dans un but de simplification, le plus souvent légitime, on admet généralement que les coefficients x_s et x'_s ne varient pas au cours de l'oscillation. Dans son mémoire intitulé « Application de la méthode des deux réactions à l'étude des phénomènes oscillatoires des alternateurs couplés ». M. Blondel a traité le problème dans toute sa généralité en introduisant dans les équations les coefficients d'induction mutuelle entre l'induit, d'une part, et les inducteurs et amortisseurs, d'autre part (1). Dans l'ar-

(1) A. Blondel. *Revue générale de l'Electricité*, 17 et 24 février, 3, 10 et 31 mars 1923, t. XIII, p. 235-251, 275-282, 331-343, 387-396 et 515-531.

ticle mentionné plus haut (1), M. Putman estime qu'il est permis de considérer, pratiquement, la réactance transversale x'_s comme constante, mais qu'il convient d'attribuer, par contre, à la réactance de réaction directe une valeur réduite dans le cas du fonctionnement oscillatoire, par suite du caractère périodiquement variable de l'induction mutuelle entre l'armature et les enroulements inducteurs et amortisseurs.

Cette action, il est vrai, n'est de quelque importance que dans le cas d'alternateurs ou de moteurs synchrones dont les inducteurs présentent une faible résistance comparée à leur réactance, et ceci exige que l'on ait affaire à des oscillations de période relativement courte.

Le couple synchronisant est naturellement l'élément pour lequel il est surtout important de tenir compte de cette diminution de la réactance de réaction directe, lorsque les circonstances indiquées ci-dessus se trouvent réalisées ; désignons donc par ψ_0 la valeur de l'angle ψ correspondant à la puissance moyenne développée dans la machine synchrone ; l'angle ψ entre la force électromotrice E_n et la tension aux bornes U est alors à chaque instant $\psi_0 + \psi'$, en appelant ψ' la déviation à l'instant t dans le mouvement d'oscillation autour de la valeur moyenne ψ_0. Posons de même $\delta = \varepsilon_0 + \delta'$, en désignant par ε_0 le déphasage du courant sur la force électromotrice interne, lorsque ψ est égal à ψ_0.

Prenons comme auparavant pour axe de référence la phase de la force électromotrice nominale E_n. L'expression vectorielle de la tension U s'écrit donc évidemment

$$\bar{U} = U e^{j(\psi_0 + \psi')};$$

mais l'expression du courant $\bar{I} = I e^{j(\delta_0 + \delta')}$ a besoin d'être explicitée en raison de la modification subie par la réactance directe : l'accroissement de la composante réactive des ampères-tours de réaction, lorsque ψ passe de ψ_0 à $\psi_0 + \psi'$, est alors régi par une valeur réduite de la réactance x_s, ainsi qu'il vient d'être dit ; en désignant par x_e cette valeur de x_s, on écrira

Valeur instantanée du courant réactif
= Valeur du courant réactif pour $\psi = \psi_0$
+ Variation du courant réactif due à la déviation ψ'.

Les équations (28) doivent être remplacées, par conséquent, en négligeant la résistance, par les relations

$$\left.\begin{aligned} I\cos(\delta_0 + \delta') &= -\frac{U\sin(\psi_0+\psi')}{x'_s} \\ I\sin(\delta_0 + \delta') &= -\left\{\frac{E_n - U\cos\psi_0}{x_s}\right. \\ &\quad \left. + \frac{[E_n - U\cos(\psi_0+\psi')] - [E_n - U\cos\psi_0]}{x_e}\right\} \end{aligned}\right\} \quad (33)$$

(1) H.-V. Putman. *Loc. cit.*

dont la dernière peut s'écrire

$$I\sin(\delta_0 + \delta') = -U\left\{\left(\frac{1}{x_e} \quad \frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0 - \frac{1}{x_e}\cos(\psi_0+\psi') + \frac{1}{x_s}\frac{E_n}{U}\right\}.$$

Pour l'angle $\psi_0 + \psi'$ entre la force électromotrice E_n et la tension, la puissance a pour expression

$$P = \text{partie réelle de } U e^{-j\psi} I e^{j\delta}$$

$$= U^2\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2(\psi_0+\psi') - \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0\sin(\psi_0+\psi') - \frac{E_n}{Ux_s}\sin(\psi_0+\psi')\right\}$$

où ψ_0 est négatif pour un alternateur. Le couple synchronisant s'en déduit en écrivant

$$P_s = \frac{\partial P}{\partial\psi} = \frac{\partial P}{\partial\psi'}$$

$$= U^2\left\{\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2(\psi_0+\psi') - \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0\cos(\psi_0+\psi') - \frac{E_n}{Ux_s}\cos(\psi_0+\psi')\right\}.$$

Faisant maintenant $\psi = \psi_0$, c'est-à-dire $\psi' = 0$ et remarquant qu'à ce moment, il est permis, sans risque d'erreurs, de convenir que l'angle ψ sera toujours évalué comme positif, on obtient finalement les formules qui conviennent pour les calculs dans le cas d'un alternateur

$$\left.\begin{aligned} P &= U^2\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_s}\right)\sin 2\psi_0 + \frac{E_n}{Ux_s}\sin\psi_0\right\}; \\ P_s &= U^2\left\{-\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0 + \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_s}\right)\cos^2\psi_0 + \frac{E_n}{Ux_s}\cos\psi_0\right\} \end{aligned}\right\} \quad (34)$$

d'où la valeur du couple synchronisant

$$C_s = \frac{P_s}{9{,}81 \times 2\pi n}, \text{ en mètres-kilogrammes.}$$

Il y a lieu de faire les mêmes remarques qu'au paragraphe précédent sur l'addition d'un terme $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial\psi}$ et sur l'expression de P et P_s dans le cas d'un moteur.

Pour un moteur, on trouve (parce que nous avons négligé la résistance) les mêmes expressions

$$\left.\begin{aligned} P &= U^2\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x_s}\right)\sin 2\psi_0 + \frac{E_n}{Ux_s}\sin\psi_0\right\}\\ P_s &= U^2\left\{-\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0 + \left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x_s}\right)\cos^2\psi_0 + \frac{E_n}{Ux_s}\cos\psi_0\right\}\end{aligned}\right\} \quad (35)$$

identiques à celles des formules (34).

3. Expression du courant débité par l'alternateur. — Conservons, dans le même but de généralité, la distinction entre les deux valeurs x_e et x_s de la réactance directe. On a écrit, rapportée à l'axe OM de référence, l'expression du courant

$$\bar{I} = I(\cos\delta_0 + j\sin\delta_0)$$

et pour l'angle $\delta = \delta_0 + \delta'$

$$\bar{I} = I[\cos(\delta_0+\delta') + j\sin(\delta_0+\delta')]$$

avec [équation (33)]

$$\left.\begin{aligned} I\cos(\delta_0+\delta') &= -\frac{U\sin(\psi_0+\psi')}{x'_s},\\ I\sin(\delta_0+\delta') &= -\frac{E_n - U\cos\psi_0}{x_s} + \frac{U\cos(\psi_0+\psi') - U\cos\psi_0}{x_e}.\end{aligned}\right\} \quad (36)$$

Effectuons un changement d'axe de référence; adoptons l'axe OA, c'est-à-dire la tension aux barres collectrices, afin d'utiliser un axe de référence qui soit commun à toutes les machines et rapportons-lui le vecteur de courant des divers alternateurs. L'expression (36) du courant débité par l'un quelconque d'entre eux devient

$$I = Ie^{j(\delta_0+\delta')}e^{-j(\psi_0+\psi')}. \quad (37)$$

Dans les expressions (36) et (37), ψ_0 et ψ' sont négatifs dans le cas d'un alternateur et positifs pour un moteur. De même que dans les paragraphes précédents, il est plus commode d'écrire finalement les formules de telle sorte qu'on ait toujours à attribuer aux angles ψ_0 et ψ' des valeurs positives, qu'il s'agisse d'un moteur ou d'un alternateur. Il suffit pour cela de remplacer ψ_0 et ψ' par $-\psi_0$ et $-\psi'$ dans (36) et (37) lorsqu'il s'agit d'un alternateur, ce qui donne

$$\left.\begin{aligned} I\cos(\delta_0+\delta') &= \frac{U\sin(\psi_0+\psi')}{x'_s},\\ I\sin(\delta_0+\delta') &= -\frac{E_n - U\cos\psi_0}{x_s} + \frac{U\cos(\psi_0+\psi') - U\cos\psi_0}{x_e}\end{aligned}\right\} \quad (36\,bis)$$

et

$$\bar{I} = Ie^{j(\delta_0+\delta')}e^{j(\psi_0+\psi')} \quad (37\,bis)$$

ou, en développant

$$\bar{I} = I[\cos(\delta_0+\delta') + j\sin(\delta_0+\delta')] \times [\cos(\psi_0+\psi') + j\sin(\psi_0+\psi')]$$

et en substituant les formules (36 bis)

$$\begin{aligned}\bar{I} = U\Big\{&-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x'_s}\right)\sin 2(\psi_0+\psi') + \left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0\sin(\psi_0+\psi') + \frac{E_n}{Ux_s}\sin(\psi_0+\psi')\Big\}\\ + jU\Big\{&\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x'_s}\right)\cos 2(\psi_0+\psi') - \left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0\cos(\psi_0+\psi')\\ &- \frac{E_n}{Ux_s}\cos(\psi_0+\psi') + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e}+\frac{1}{x'_s}\right)\Big\}\end{aligned} \quad (38)$$

Telle est l'expression du courant, variable du fait des oscillations pendulaires, qui parcourt les enroulements d'un alternateur. Ce courant peut être complètement explicité en fonction du temps, en remplaçant dans l'équation (38) l'angle ψ_0 par sa valeur $p_k\theta_k^0$ et l'angle ψ' par son expression $p_k\theta'_k - \gamma'$ relative à l'alternateur considéré. L'expression de l'angle γ' sera d'ailleurs donnée un peu plus loin par l'équation (46), en fonction des écarts angulaires $p_1\theta'_1, p_2\theta'_2 \ldots p_n\theta'_n$.

Dérivons maintenant l'équation (38) par rapport à ϕ. c'est-à-dire par rapport à ψ'; on obtient, en faisant ensuite $\psi' = o$, c'est-à-dire en faisant $\psi = \psi_0$,

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial\bar{I}}{\partial\psi}\right)_{\psi_0} = U\Big\{&-\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0 + \left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x_s}\right)\cos^2\psi_0 + \frac{E_n}{Ux_s}\cos\psi_0\Big\}\\ + jU\Big\{&-\left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0 + \left(\frac{1}{x_e}-\frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0\sin\psi_0 + \frac{E_n}{Ux_s}\sin\psi_0\Big\}.\end{aligned} \quad (39)$$

On tire également de (38) la dérivée $\frac{\partial I}{\partial U}$, qui s'écrit pour $\psi = \psi_0$,

$$\left(\frac{\partial \bar{I}}{\partial U}\right)_{\psi_0} = \left\{ -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0 + \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_s}\right)\cos\psi_0 \sin\psi_0 \right\} + j\left\{ \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0 - \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x_s}\right)\cos^2\psi_0 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_e} + \frac{1}{x'_s}\right)\right\}. \quad (40)$$

4. Calcul des dérivées $\frac{\partial U}{\partial \psi_k}$. — Soit maintenant $\bar{Z} = Ze^{j\varphi}$ l'impédance équivalente du réseau alimenté par les barres collectrices; le courant qu'il absorbe a pour valeur

$$\bar{I} = \frac{U}{Z} e^{-j\varphi}.$$

Ecrivons que ce courant est la somme des courants débités par toutes les machines synchrones. Désignons par I_{ka} et I_{kr} les composantes en phase et en quadrature avec la tension U du courant fourni par un alternateur (ou un moteur) A_k. On a

$$\left.\begin{aligned} I_{1a} + I_{2a} + \ldots + I_{na} &= \frac{U}{Z}\cos\varphi \\ I_{1r} + I_{2r} + \ldots + I_{nr} &= -\frac{U}{Z}\sin\varphi \end{aligned}\right\} \quad (41)$$

Par dérivation, on obtient, à partir de l'une ou l'autre de ces deux relations, l'expression de $\frac{\partial U}{\partial \psi}$. La première, par exemple, donne

$$\frac{\partial I_{ka}}{\partial \psi_k} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\partial I_{ia}}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi_k} = \frac{\cos\varphi}{Z}\frac{\partial U}{\partial \psi_k}$$

ou

$$\left(\frac{\cos\varphi}{Z} - \sum \frac{\partial I_{ia}}{\partial U}\right)\frac{\partial U}{\partial \psi_k} = \frac{\partial I_{ka}}{\partial \psi_k}. \quad (42)$$

Introduisons dans cette équation les valeurs de $\frac{\partial I_a}{\partial \psi}$ et $\frac{\partial I_a}{\partial U}$ données par (39) et (40) et admettons, pour simplifier, que les réactances directes x_e et x_s soient égales. L'équation devient

$$\left[\frac{\cos\varphi}{Z} + \frac{1}{2}\sum\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0\right]\frac{\partial U}{\partial \psi_k} = \frac{E_n}{x_s}\cos\psi_0 - U\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0;$$

en multipliant les deux nombres par U, on en déduit

$$\frac{\partial U}{\partial \psi_k} = \frac{U^2\left[\frac{E_n}{Ux_s}\cos\psi_0 - \left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0\right]}{U\frac{\cos\varphi}{Z} + \frac{U}{2}\sum\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0}. \quad (43)$$

En se reportant à l'équation (34) on voit que le numérateur est l'expression de la puissance synchronisante de l'alternateur A_k considérée sans l'addition du terme $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi_k}$. Par conséquent, l'importance relative de ce terme additif a pour mesure la valeur de l'expression

$$\frac{\partial P}{\partial U} \times \frac{1}{U\frac{\cos\varphi}{Z} + \frac{U}{2}\sum\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0},$$

que l'on peut écrire

$$U\frac{\partial P}{\partial U} \times \frac{1}{U^2\frac{\cos\varphi}{Z} + \frac{U^2}{2}\sum\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0};$$

mais $U\frac{\partial P}{\partial U}$ est généralement de l'ordre de grandeur de la puissance P débitée par l'alternateur; la conclusion est ainsi que le terme $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi}$ ne peut être négligé dans le calcul du couple synchronisant que pour les alternateurs (ou les moteurs) dont la puissance n'est qu'une fraction relativement faible de la puissance totale $\frac{U^2\cos\varphi}{Z}$ que tous ensemble fournissent au réseau.

Au mieux, il sera prudent de toujours calculer le terme $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi}$.

5. Expressions de l'angle de phase γ' de la tension et des coefficients $a_1, a_2, a_2, \ldots a_n$. — Prenons la différentielle totale des équations (41), et écrivons $\Delta\psi_k$ et ΔU pour $d\psi_k$ et dU. On a

$$\left.\begin{aligned} \sum \frac{\partial I_{ka}}{\partial \psi_k}\Delta\psi_k &= \left[\frac{\cos\varphi}{Z} - \sum\frac{\partial I_{ka}}{\partial U}\right]\Delta U \\ \sum \frac{\partial I_{kr}}{\partial \psi_k}\Delta\psi_k &= \left[-\frac{\sin\varphi}{Z} - \sum\frac{\partial I_{kr}}{\partial U}\right]\Delta U \end{aligned}\right\} \quad (44)$$

Mais ψ_k est l'angle qui a été désigné dans le texte au début de cet article, par $p_k\theta_k - \gamma$, et $\Delta\psi_k$ est l'accroissement qui a été appelé $p_k\theta_k' - \gamma'$; les équations (44) peuvent donc s'écrire, en désignant les dérivées

$$\frac{\partial I_{ka}}{\partial \psi_k}, \quad \frac{\partial I_{kr}}{\partial \psi_k}, \quad \frac{\partial I_{ka}}{\partial U}, \quad \frac{\partial I_{kr}}{\partial U}$$

respectivement par les lettres A, B, C, D,

$$\left.\begin{aligned} -\gamma'\Sigma A_k + \Sigma A_k p_k \theta'_k &= \left[\frac{\cos\varphi}{Z} - \Sigma C_k\right]\Delta U \\ -\gamma'\Sigma B_k + \Sigma B_k p_k \theta'_k &= \left[-\frac{\sin\varphi}{Z} - \Sigma D_k\right]\Delta U \end{aligned}\right\} \quad (45)$$

d'où, par élimination de ΔU,

$$\gamma' \left\{ \frac{\Sigma A_k}{\left(\frac{\cos\varphi}{Z} - \Sigma C_k\right)} + \frac{\Sigma B_k}{\left(\frac{\sin\varphi}{Z} + \Sigma D_k\right)} \right\}$$

$$= \frac{\Sigma A_k p_k \theta'_k}{\left(\frac{\cos\varphi}{Z} - \Sigma C_k\right)} + \frac{\Sigma B_k p_k \theta'_k}{\left(\frac{\sin\varphi}{Z} + \Sigma D_k\right)}. \quad (46)$$

Les coefficients A, B, C, D s'explicitent aisément en se reportant aux relations (39) et (40) ; en admettant encore, pour la simplicité, que $x_e = x_s$, on a

$$\left.\begin{aligned} A_k &= \frac{\partial I_{ka}}{\partial \psi_k} = \frac{E_n}{x_s}\cos\psi_0 - U\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0 \\ B_k &= \frac{\partial I_{kr}}{\partial \psi_k} = \frac{E_n}{x_s}\sin\psi_0 - U\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0 \\ C_k &= \frac{\partial I_{ka}}{\partial U} = -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0 \\ D_k &= \frac{\partial I_{kr}}{\partial U} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{x_s} + \frac{1}{x'_s}\right) \end{aligned}\right\} \quad (47)$$

Ce sont les valeurs des coefficients A, B, C, D relatifs aux alternateurs. Pour les moteurs, on doit, dans ces expressions, changer ψ_0 en $-\psi_0$, et dans les deux cas les angles ψ_0 seront alors considérés comme essentiellement positifs.

On calcule ainsi l'expression de l'angle de phase γ' de la tension aux barres collectrices, et, par suite, les coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$, qui figurent dans la relation (8) :

$$\gamma' = a_1 p_1 \theta'_1 + a_2 p_2 \theta'_2 + \ldots + a_n p_n \theta'_n.$$

On voit immédiatement sur l'équation (46) qu'en faisant $p_1\,\theta'_1 = p_2\,\theta'_2 \ldots p_n\,\theta'_n = 1$, on a $\gamma' = 1$, ce qui vérifie que l'on a identiquement

$$a_1 + a_2 + \ldots + a_n = 1.$$

6. Calcul des périodes d'oscillations normales et des écarts angulaires. — Ayant obtenu ainsi les expressions des facteurs d'amortissement C_a, des couples synchronisants C_s et des coefficients a_1, $a_2, \ldots a_n$, l'équation caractéristique (14) fait connaître les pulsations et, par suite, les périodes d'oscillations normales, que l'on comparera avec celles des couples perturbateurs appliqués aux machines synchrones, de façon à s'assurer qu'aucune résonance n'est à redouter : c'est le point capital de cette étude. On peut, si on le désire, calculer également les écarts angulaires au moyen des équations différentielles avec seconds membres, comme il a été expliqué.

Enfin, le courant dans les enroulements de chaque alternateur sera donné par l'équation (38) et la tension U aux barres collectrices, tension variable du fait des oscillations, peut être explicitée et ses fluctuations, calculées au moyen des équations (41).

7. Conclusion. — En résumé, les couples synchronisants C_s sont donnés, lorsque les deux valeurs de la réactance directe, x_e et x_s, peuvent être confondues, ce qui est le cas le plus usuel, par les équations (30) et (32) complétées au besoin par les termes $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi}$; les dérivées $\frac{\partial P}{\partial U}$ se tirent des équations (29) et (31), et les dérivées $\frac{\partial U}{\partial \psi}$ sont fournies par la formule (43) pour un alternateur, ou la formule analogue dans le cas d'un moteur.

Si les coefficients x_e et x_s doivent recevoir des valeurs distinctes, on aura recours aux expressions de C_s données par (34) et (35) (1) complétées de même par les termes $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi}$; $\frac{\partial P}{\partial U}$ s'obstient alors par dérivation des expressions de P données également sous les chiffres (34) et (35).

L'angle de phase γ' de la tension aux bornes se calcule, d'autre part, au moyen de la relation (46) et des expressions (47) des coefficients qui figurent dans cette équation.

Afin de ne pas surcharger davantage de formules le texte, nous n'avons plus considéré à partir de la formule (38) que le cas des alternateurs. D'après les explications données en établissant les expressions (26) à (32), le lecteur pourra sans peine écrire toutes les formules qui conviennent pour des moteurs.

Enfin, pour éviter toute difficulté, nous allons, à titre d'exemple, résumer brièvement la méthode à suivre dans le cas fréquent où les résistances sont négligeables et où l'on peut admettre une même valeur pour les coefficients x_e et x_s.

1° On tracera le diagramme des deux réactions (fig. 2) ou fig. 3) pour chacune des machines synchrones. Pour déterminer les deux réactances x_s et x'_s, on pourra procéder de la manière suivante : en se donnant d'abord au jugé une valeur plausible de l'angle ψ, on

(1) Pour éviter des formules d'une écriture un peu longue, on a négligé les résistances dans l'établissement des expressions (34) et (35). La résistance d'un alternateur est effectivement toujours assez faible pour être négligée dans ces calculs, et, dans le cas où la longueur des connexions est suffisante pour introduire une notable résistance, il arrivera souvent que la self-inductance de ces connexions viendra atténuer sensiblement la différence entre les réactances x_e et x_s (puisque les valeurs de ces coefficients comprennent la self-inductance des connexions), de sorte qu'il sera suffisant d'utiliser les formules (30) et (32).

calcule la composante transversale AT_t des ampères-tours de réaction d'induit et on multiplie ce chiffre par le coefficient K_q donné par la courbe de la figure 4 (1).

On cherche alors sur la caractéristique à vide de la machine la force électromotrice correspondant aux ampères-tours d'excitation $AT_t \times K_q$. Le nombre de volts ainsi trouvé est la grandeur du vecteur OD à porter sur le diagramme.

Si l'angle ψ obtenu ne coïncide pas avec la valeur présumée qui a été admise comme point de départ, on recommence les mêmes opérations avec une nouvelle valeur de ψ.

Le diagramme fait connaître les valeurs des coefficients x_s et x'_s, ainsi que l'angle ψ correspondant à la

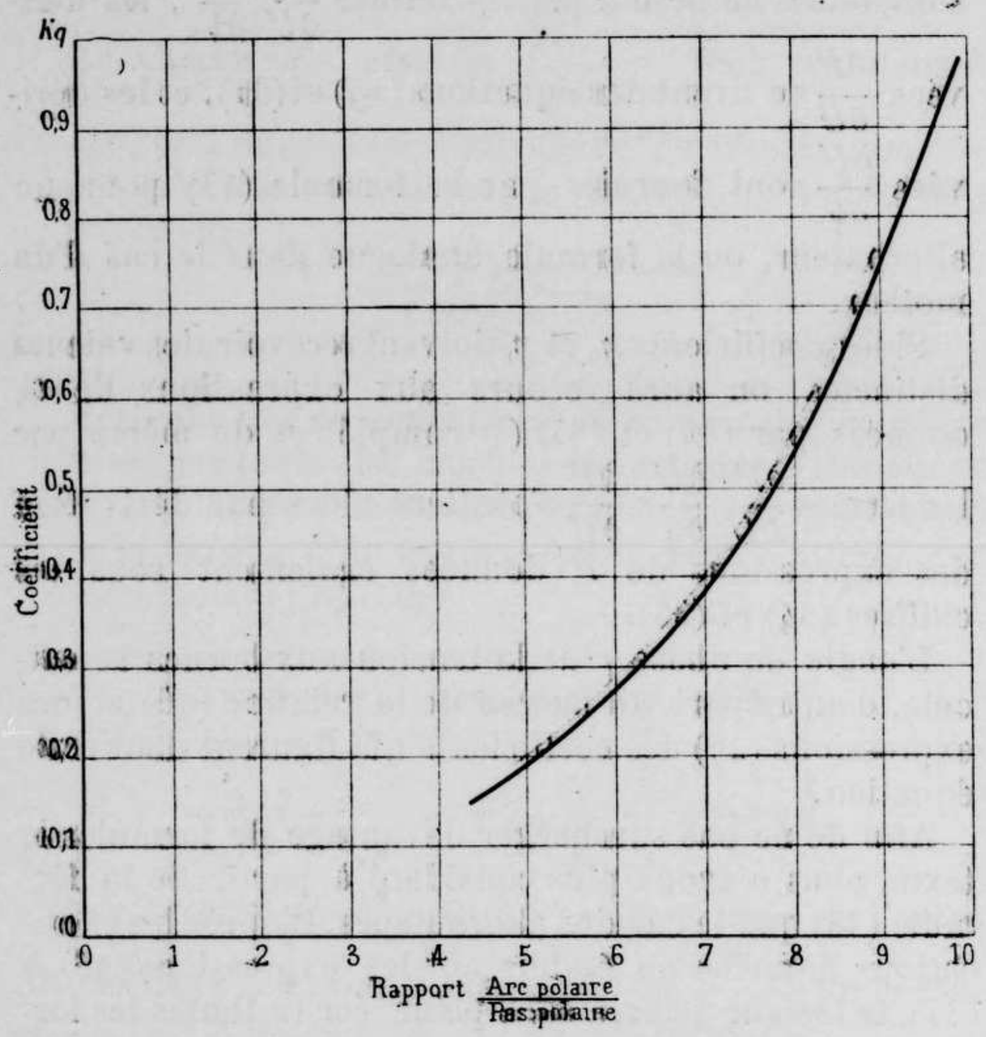


Fig. 4. — Courbe représentant la variation de K_q en fonction du rapport $\frac{\text{arc polaire}}{\text{pas polaire}}$.

charge sous laquelle fonctionne la machine considérée. (Cet angle est désigné par ψ_0 dans les formules (34) et (35).) On trace les diagrammes des divers alternateurs et moteurs synchrones.

4° On calcule les coefficients C_a et C_s relatifs à chaque machine. Dans les conditions envisagées, le couple synchronisant C_s a pour expression

$$C_s = \frac{1}{9,81 \times 2\pi n} P_s, \text{ en mètres-kilogrammes,}$$

(1) La courbe est extraite de l'ouvrage de Miles Walker, *Specification and design of dynamo-electric machinery*, (Londres 1905, Longmans, Green and Co ltd), p. 294 de l'édition anglaise ou de la traduction française *Calcul et spécification des machines dynamo-électriques*, par J. Kéraly (Béranger éditeur, Paris 1922), p. 322.

n désignant le nombre de tours par seconde, avec, pour les machines triphasées

$$P_s = U^2\sqrt{3}\left[\frac{E_n}{Ux_s}\cos\psi_0 - \left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0\right] + \frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi},$$

expression qui convient indistinctement pour les alternateurs et pour les moteurs. En formant $\frac{\partial P}{\partial U}$ à partir de la formule (34), on a

$$P_s = U^2\sqrt{3}\left\{\left[\frac{E_n}{Ux_s}\cos\psi_0 - \left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0\right] + \left[\frac{E_n}{Ux_s}\sin\psi_0 - \left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0\right]\frac{1}{U}\frac{\partial U}{\partial \psi}\right\}$$

et il suffit de remplacer dans cette formule $\frac{1}{U}\frac{\partial U}{\partial \psi}$ par son expression déduite de la relation (43), c'est-à-dire

$$\frac{1}{U}\frac{\partial U}{\partial \psi} = \frac{\frac{E'_n}{Ux_s}\cos\psi_0 - \left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\cos 2\psi_0}{\frac{\cos\varphi}{Z} + \frac{1}{2}\Sigma\left(\frac{1}{x_s} - \frac{1}{x'_s}\right)\sin 2\psi_0}.$$

Les valeurs de $\sin 2\psi_0$ qui figurent sous le signe Σ au dénominateur seront prises positives pour les alternateurs et négatives pour les moteurs, qui entrent dans la constitution du système considéré.

3° On achève enfin le calcul comme il a été dit, au moyen des formules (46) et (47), d'où l'on obtient les coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$ qu'il faut porter, ainsi que les C_s, dans l'équation caractéristique (13). Celle-ci fait connaître finalement les périodes d'oscillations normales, et ce sont les périodes de résonance lorsque l'amortissement est suffisamment faible. Lorsque les coefficients d'amortissement C_a, au contraire, ne peuvent pas être négligés, il y aura lieu de rechercher les périodes correspondant à la résonance de la façon que l'on trouvera indiquée à la fin de la note III.

C'est ainsi qu'ont été conduits les calculs dans l'exemple relatif à trois alternateurs, qui est donné ci-après.

VI. **Application.** — A. **Expressions des périodes d'oscillations normales en fonction des périodes propres des diverses machines synchrones.** — Par application des théories développées au début, cherchons l'expression des périodes d'oscillations normales dans le cas de deux et de trois alternateurs.

1° *Deux alternateurs.* — Les coefficients de l'équation caractéristique

$$A_0 r^4 + A_1 r^2 + A_2 = 0 \qquad (1)$$

s'obtiennent aisément par le développement du déterminant (13). On a

$$A_0 = J_1 J_2$$
$$A_1 = J_2 C_{s1}(1 - a_1) + J_1 C_{s2}(1 - a_2)$$
$$A_2 = 0.$$

Si l'on tient compte alors des formules

$$\frac{2\pi}{T_1}=\sqrt{\frac{C_{s1}p_1}{J_1}}, \qquad \frac{2\pi}{T_2}=\sqrt{\frac{C_{s2}p_2}{J_2}},$$

qui donnent, comme on sait, les périodes d'oscillations propres T_1 et T_2 des alternateurs connectés à un réseau de puissance « infinie », en attribuant à leurs couples synchronisants C_{s1} et C_{s2} les valeurs calculées pour le fonctionnement en parallèle actuellement considéré, il vient pour solution de l'équation (1)

$$\omega^2=\frac{4\pi^2}{T^2}=-r^2=\frac{A_1}{A_0}$$

ou

$$\frac{1}{T^2}=\frac{1-a_1}{T_1^2}+\frac{1-a_2}{T_2^2}.$$

2° *Trois alternateurs.* — L'équation caractéristique s'écrit dans ce cas

$$A_0 r^6+A_1 r^4+A_2 r^2+A_3=0. \qquad (2)$$

Le développement du déterminant (13) fournit les expressions

$$A_0=J_1J_2J_3$$

$$A_1=J_2J_3C_{s1}p_1(1-a_1)+J_3J_1C_{s2}p_2(1-a_2)+J_1J_2C_{s3}p_3(1-a_3)$$

$$A_2=J_1C_{s2}C_{s3}p_2p_3a_1+J_2C_{s3}C_{s1}p_3p_1a_2+J_3C_{s1}C_{s2}p_1p_2a_3$$

$$A_3=0,$$

d'où, en tenant compte des formules

$$\frac{2\pi}{T_1}=\sqrt{\frac{C_{s1}p_1}{J_1}}, \qquad \frac{2\pi}{T_2}=\sqrt{\frac{C_{s2}p_2}{J_2}}, \qquad \frac{2\pi}{T_3}=\sqrt{\frac{C_{s3}p_3}{J_3}},$$

on peut écrire

$$\frac{1}{4\pi^2}\frac{A_1}{A_0}=\frac{1-a_1}{T_1^2}+\frac{1-a_2}{T_2^2}+\frac{1-a_3}{T_3^2},$$

$$\frac{1}{4\pi^2}\frac{A_2}{A_0}=\frac{a_1}{T_2^2T_3^2}+\frac{a_2}{T_3^2T_1^2}+\frac{a_3}{T_1^2T_2^2}.$$

L'équation (2) se réduit à

$$r^4+\frac{A_1}{A_0}r^2+\frac{A_2}{A_0}=0$$

ou, en posant $\omega^2=-r^2$

$$\omega^4-\frac{A_1}{A_0}\omega^2+\frac{A_2}{A_0}=0. \qquad (3)$$

Les périodes T_{1N} et T_{2N} des oscillations normales du système sont fournies par les racines de cette équation

$$\omega_1^2 \text{ et } \omega_2^2=+\frac{A_1}{2A_0}\pm\sqrt{\left(\frac{A_1}{2A_0}\right)^2-\frac{A_2}{A_0}}$$

et

$$\frac{1}{T_{1N}^2}=\frac{\omega_1^2}{4\pi^2}, \qquad \frac{1}{T_{2N}^2}=\frac{\omega_2^2}{4\pi^2}.$$

On peut remarquer que, quand les trois machines sont identiques, la quantité

$$\left(\frac{A_1}{2A_0}\right)^2-\frac{A_2}{A_0}$$

devient nulle, et par suite il n'existe plus qu'une seule période d'oscillations normales.

B. **Calcul numérique.** — 1. Données. — Considérons par exemple trois alternateurs, dont les données caractéristiques sont les suivantes :

Alternateur n° 1. — 6 500 kv-a, cos φ = 0,8, 5 300 v, 64 pôles, 94 t:mn, 50 p:s, entraîné par moteur à gaz double tandem, à double effet à quatre temps, manivelles à 90 degrés ;

$$PD^2=3\,800\,000 \text{ kg-m}^2.$$

Alternateur n° 2. — 5 900 kv-a, cos φ = 0,8, 5 300 v, 64 pôles, 94 t:mn, 50 p:s, entraîné par moteur à gaz, double tandem, à double effet, à quatre temps, manivelles à 90 degrés

$$PD^2=4\,300\,000 \text{ kg-m}^2.$$

Alternateur n° 3. — 5 000 kv-a, cos φ = 0,7, 5 300 v, 64 pôles, 94 t:mn, 50 p:s, entraîné par moteur à gaz, simple tandem, à double effet

$$PD^2=2\,850\,000 \text{ kg-m}^2.$$

Réseau d'utilisation. — La charge du réseau est de 17 300 kv-a, cos φ = 0,77, et peut être représentée par une impédance dont les caractéristiques sont

$$Z=2{,}8 \text{ ohms}, \qquad \cos\varphi=0{,}77, \qquad \sin\varphi=0{,}638.$$

2. Calcul des périodes d'oscillations des alternateurs considérés séparément. — *Alternateur n° 1.* — En construisant le diagramme de Blondel, on obtient pour le fonctionnement à pleine charge les valeurs

$$\psi_0=18°15' \qquad x_s=2{,}9 \text{ ohms}$$

$$E_n=6\,700 \text{ v} \qquad x'_s=4{,}2 \text{ ohms}.$$

La puissance synchronisante a été calculée à l'aide de la formule (30), complétée par le terme $\frac{\partial P}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial \psi}$. Elle a pour expression

$$P_s=2\,300\times\sqrt{3}\times10^3\times\left(4-0{,}892\,\frac{1}{U}\frac{\partial U}{\partial\psi}\right).$$

On trouve d'ailleurs

$$\frac{1}{U}\cdot\frac{\partial U}{\partial\psi}=0{,}84,$$

d'où

$$P_s = 2300 \times \sqrt{3} \times 10^3 (4 - 0{,}892 \times 0{,}84) = 7480 \times \sqrt{3} \times 10^3$$

$$C_s = \frac{\sqrt{3} \times 7\,480 \times 10^3 \times 32}{9{,}81 \times 314} = 134 \times 10^3.$$

D'autre part,

$$J = \frac{PD^2}{4g} = 96{,}8 \times 10^3$$

d'où

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{pC_s}} = 2\pi \sqrt{\frac{96\,800}{32 \times 134\,000}} = 0{,}94 \text{ seconde.}$$

Alternateur n° 2. — On obtient de même

$$\psi_0 = 10°6' \qquad x_s = 1{,}75 \text{ ohm}$$
$$E_n = 5\,950 \text{ v} \qquad x'_s = 2{,}1 \text{ ohms}$$

$$\frac{1}{U}\frac{\partial U}{\partial \psi} = 1{,}38;$$

$$P_s = \sqrt{3} \times 7\,620 \times 10^3 (1{,}986 - 0{,}29 \times 1{,}38)$$
$$= \sqrt{3} \times 12 \times 10^6,$$

$$C_s = \frac{\sqrt{3} \times 12 \times 10^6 \times 32}{9{,}81 \times 314} = 216{,}5 \times 10^3,$$

$$J = \frac{PD^2}{4g} = 109{,}5 \times 10{,}^3$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{109{,}5}{32 \times 216{,}5}} = 0{,}79 \text{ seconde.}$$

Alternateur n° 3. — On a

$$\psi_0 = 14° \qquad x_s = 3{,}19$$
$$E_n = 6\,700 \text{ v} \qquad x'_s = 4{,}64$$

$$\frac{1}{U}\frac{\partial U}{\partial \psi} = 0{,}76;$$

$$P_s = \sqrt{3} \times 1\,900 \times 10^3 (4{,}418 - 0{,}752 \times 0{,}76)$$
$$= \sqrt{3} \times 7\,290 \times 10^3,$$

$$C_s = \frac{\sqrt{3} \times 7\,290 \times 10^3 \times 32}{9{,}81 \times 314} = 130 \times 10^3,$$

$$J = \frac{PD^2}{4g} = 72{,}5 \times 10^3,$$

$$T_3 = 2\pi \sqrt{\frac{72{,}5}{32 \times 130}} = 0{,}83 \text{ seconde.}$$

3. Calcul des coefficients a_1, a_2, a_3. — On trouve, par application de la formule (46)

$$1{,}019\,\gamma' = 0{,}315\,p_1\theta'_3 + 0{,}507\,p_2\theta'_2 + 0{,}195\,p_3\theta'_3,$$

d'où

$$a_1 = \frac{0{,}315}{1{,}019} = 0{,}31, \quad a_2 = \frac{0{,}507}{1{,}019} = 0{,}50, \quad a_3 = \frac{0{,}195}{1{,}019} = 0{,}19.$$

4. Calcul des périodes d'oscillations normales (périodes de résonance). — On calcule alors les rapports

$$\frac{A_1}{A_0} = 4\pi^2 \left[\frac{1 - 0{,}31}{\overline{0{,}94}^2} + \frac{1 - 0{,}50}{\overline{0{,}79}^2} + \frac{1 - 0{,}19}{\overline{0{,}83}^2}\right],$$

$$\frac{A_2}{A_0} = 4\pi^2 \left[\frac{0{,}31}{(0{,}79 \times 0{,}83)^2} + \frac{0{,}50}{(0{,}83 \times 0{,}94)^2} + \frac{0{,}19}{(0{,}94 \times 0{,}79)^2}\right]$$

ce qui donne

$$\frac{A_1}{A_0} = 4\pi^2 \times 2{,}763, \qquad \frac{A_2}{A_0} = 4\pi^2 \times 1{,}867.$$

Les racines de l'équation caractéristique sont alors

$$-\omega_1{}^2 \text{ et } -\omega_2{}^2 = 4\pi^2 \left\{-\frac{2{,}763}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2{,}763}{2}\right)^2 - 1{,}867}\right\}$$

$$\omega_1{}^2 = 4\pi^2 \times 1{,}186, \qquad \omega_2{}^2 = 4\pi^2 \times 1{,}576$$

d'où

$$T_{1N} = 0{,}92 \text{ s}, \qquad T_{2N} = 0{,}80 \text{ s}.$$

Comparons ces périodes avec celles des couples perturbateurs des moteurs à gaz; il y a lieu de considérer principalement les périodes (la vitesse de rotation des moteurs à gaz étant de 94 t : mn) .

$$t = \frac{60 \times 2}{94} = 1{,}28 \text{ s} \quad \text{et } t = \frac{60}{94} = 0{,}64 \text{ s}.$$

Aucune résonance n'est donc à craindre entre ces périodes et les précédentes, tout au moins dans le fonctionnement en charge des alternateurs.

5. Résultats. — En résumé, les calculs ci-dessus fournissent les résultats suivants :

Périodes d'oscillations propres des trois alternateurs en charge (en secondes) :	0,94	0,83	0,79
Périodes des oscillations normales du système (en secondes) :	0,92	et	0,80
Périodes des impulsions motrices (en secondes) :	1,28	et	0,64

Charles Galmiche,
Ingénieur
à la Société Le Matériel électrique S. W

Annexe

Note I

Nature plus complexe du problème des oscillations, lorsque les amplitudes atteignent des valeurs quelque peu importantes. — Les équations différentielles (11) ne sont valables que dans le cas d'oscillations de faible amplitude. Examinons donc la nature des équations auxquelles on est conduit, si on veut traiter le problème affranchi de cette restriction : en se reportant au début de l'article, on voit que l'expression du couple de synchronisation $C_s (p\,0' - \gamma')$ ne peut plus être obtenue par simple différentiation de la fonction $G\,(p\,0 - \gamma)$ qui exprime le couple

de l'alternateur en fonction de l'angle $\psi = p\theta - \gamma$; car il est nécessaire alors de considérer l'écart angulaire comme un accroissement fini.

La même remarque s'applique aux coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$ qui relient l'angle de phase γ' de la tension aux barres collectrices aux écarts angulaires $p\,\theta'$.

En admettant, en première approximation, pour ces divers coefficients, des expressions de la forme $a+b\cos\omega t$, les équations différentielles du problème prendraient la forme d'un système d'équations à coefficients périodiques, dont la résolution exige d'ailleurs la détermination d'exposants caractéristiques qui ne peuvent généralement s'obtenir que par des méthodes d'approximations successives. Il faut observer toutefois que les variations de la saturation magnétique peuvent exercer une influence appréciable sur la valeur des coefficients x_s, x_e, x'_s, et par là sur celle de tous les paramètres C_a, C_s, $a_1\, a_2 \ldots a_n$. Par suite de la forme des courbes de saturation, ces coefficients ne sont même pas représentables par une fonction symétrique des écarts angulaires. En définitive, l'allure des oscillations peut donc se trouver profondément différente de celle qui résulterait de l'application (non justifiée) des équations obtenues précédemment dans l'hypothèse d'oscillations de faible amplitude.

Cette altération des coefficients au cours même du mouvement pendulaire peut évidemment limiter parfois les amplitudes des oscillations en ne permettant pas à une fréquence de résonance de subsister lorsque l'amplitude atteint une certaine valeur ; elle exerce, dans ce cas, une action favorable qui vient s'ajouter à celle de l'amortissement. C'est peut-être dans cette voie que doit être recherchée aussi l'explication de curieux phénomènes que l'on rencontre quelquefois dans la marche en parallèle des machines, de ces oscillations par exemple dont l'allure manifeste, à intervalles de temps parfaitement périodiques, de brusques variations d'amplitude.

Concluons en constatant que la question de la marche en parallèle des machines synchrones laisse le champ ouvert à de nombreuses investigations. Il convient de rappeler d'ailleurs l'importance que peut prendre dans certains cas l'intervention des appareils automatiques de régulation.

Note II

Je me propose de montrer dans cette note que les périodes des $n-1$ oscillations normales du système constitué par n machines synchrones sont comprises entre les n périodes propres de ces machines considérées comme fonctionnant séparément sur un réseau de puissance infinie.

Reprenons, en effet, les équations (21); écrivons-les en laissant de côté les termes d'amortissement et en remplaçant les $\frac{\partial T}{\partial \theta'}$, et les $\frac{\partial V}{\partial \theta}$ par leurs expressions tirées de (18) et (19). On a ainsi

$$\left.\begin{aligned} &\frac{a_1 J_1}{p_1 C_{s1}}\,\theta''_1 + a_1\,[\theta_1 - (a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \ldots + a_n\theta_n)] = 0 \\ &\frac{a_2 J_2}{p_2 C_{s2}}\,\theta''_2 + a_2\,[\theta_2 - (a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \ldots + a_n\theta_n)] = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} (1)$$

Additionnant ces équations, il vient en tenant compte de la relation $a_1 + a_2 + \ldots + a_n = 1$

$$\frac{a_1 J_1}{p_1 C_{s1}}\,\theta''_1 + \frac{a_2 J_2}{p_2 C_{s2}}\,\theta''_2 + \ldots + \frac{a_n J_n}{p_n C_{sn}}\,\theta''_n = 0$$

et en intégrant deux fois, on obtient

$$\frac{a_1 J_1}{p_1 C_{s1}}\,\theta_1 + \frac{a_2 J_2}{p_2 C_{s2}}\,\theta_2 + \ldots + \frac{a_n J_n}{p_n C_{sn}}\,\theta_n = Ct + C'. \quad (2)$$

Mais comme la solution $\theta_1 = \theta_2 = \ldots \theta_n = 0$ est une configuration d'équilibre stable, on a nécessairement $C = 0$ et $C' = 0$. Cette relation entre les écarts angulaires $\theta_1, \theta_2, \ldots \theta_n$ permet de conclure immédiatement que le système ne possède que $n-1$ degrés de liberté.

On peut dire que dans le système constitué par n machines, qui sont indépendantes aussi longtemps qu'on les suppose connectées à un réseau « infini », une liaison a été introduite, qui leur fait perdre un degré de liberté. Cette liaison se traduit analytiquement par la relation (2) qui, avec $C = C' = 0$, est de la forme

$$A_1\theta_1 + A_2\theta_2 + \ldots + A_n\theta_n = 0$$

en posant

$$\frac{a_1 J_1}{p_1 C_{s1}} = A_1, \qquad \frac{a_2 J_2}{p_2 C_{s2}} = A_2, \ \ldots \ \frac{a_n J_n}{p_n C_{sn}} = A_n.$$

En tenant compte de la relation (1)

$$\gamma = a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \ldots + a_n\theta_n, \quad (3)$$

les équations (1) peuvent s'écrire

$$\left.\begin{aligned} &A_1\theta''_1 + a_1\,(\theta_1 - \gamma) = 0 \\ &A_2\theta''_2 + a_2\,(\theta_2 - \gamma) = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &A_n\theta''_n + a_n\,(\theta_n - \gamma) = 0. \end{aligned}\right\} (4)$$

Or, il a été montré, à propos de la réduction aux coordonnées normales au moyen des méthodes de la mécanique analytique, que le mouvement de chaque machine est la résultante de $n-1$ oscillations normales, chacune de ces oscillations figurant d'ailleurs avec la même phase dans le mouvement des diverses machines. Soit ω la pulsation de l'une de ces oscillations normales: le système des équations (4) admet par conséquent une solution de la forme

$$\theta_1 = \alpha_1 \cos\omega t, \quad \theta_2 = \alpha_2 \cos\omega t, \quad \ldots \ \theta_n = \alpha_n \cos\omega t,$$

et il en résulte pour γ, défini par la relation (3), une expression analogue

$$\gamma = \nu \cos\omega t.$$

En substituant dans les équations (4) du mouvement, on a

$$\left\{\begin{aligned} &\alpha_1\left(\frac{a_1}{A_1} - \omega^2\right) + \frac{a_1}{A_1}\,\nu = 0 \\ &\alpha^2\left(\frac{a_2}{A_2} - \omega^2\right) + \frac{a_2}{A_2}\,\nu = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\alpha_n\left(\frac{a_n}{A_n} - \omega^2\right) - \frac{a_n}{A_n}\,\nu = 0, \end{aligned}\right.$$

(1) Au début de l'article cette relation a été écrite sous la forme (équation (8)) :

$$\gamma = a_1 p_1 \theta_1 + a_2 p_2 \theta_2 + \ldots + a_n p_n \theta_n,$$

mais on se rappellera que pour introduire les formes quadratiques T et V, nous avons dû ultérieurement effectuer le changement de variables remplaçant les angles $p_1\theta_1, p_2\theta_2, \ldots p_n\theta_n$ par $\theta_1, \theta_2, \ldots \theta_n$.

et en substituant les valeurs de $\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n$ données par ces équations, dans la relation

$$A_1\alpha_1 + A_2\alpha_2 + \ldots + A_n\alpha_n = 0$$

on obtient

$$\frac{a_1}{\frac{a_1}{A_1} - \omega^2} + \frac{a_2}{\frac{a_2}{A_2} - \omega^2} + \ldots + \frac{a_n}{\frac{a_n}{A_n} - \omega^2} = 0.$$

Cette équation en ω^2 a $n-1$ racines qui, d'après la forme même de l'équation, sont évidemment séparées par les quantités $\frac{a_1}{A_1}, \frac{a_2}{A_3} \ldots$ Si on construit, en effet, la courbe $y = f(\omega^2)$, on voit qu'elle admet ces diverses valeurs de ω^2 pour asymptotes et que, par suite, elle présente l'allure de la courbe de la figure 5, en supposant les nombres $\frac{a_1}{A_1}, \frac{a_2}{A_3} \ldots$ rangés par ordre de grandeur croissante.

D'ailleurs les quantités $\frac{a_1}{A_1}, \frac{a_2}{A_2} \ldots$ ne sont autre chose que les carrés des pulsations

$$\sqrt{\frac{p_1 C_{s1}}{J_1}}, \quad \sqrt{\frac{p_2 C_{s2}}{J_2}}, \quad \ldots \sqrt{\frac{p_n C_{sn}}{J_n}}$$

des oscillations propres des machines considérées comme sans action les unes sur les autres; la proposition énoncée se trouve donc démontrée.

Remarque. — Dans le cas où m machines ont même période d'oscillations propres T_m, $m-1$ périodes d'oscillations normales sont confondues et égales à T_m. Soit, par exemple, dans un système, trois alternateurs identiques : deux périodes d'oscillations normales sont confondues.

En réalité, il est exceptionnel que trois machines, même établies sur les mêmes données de fabrication, aient leurs périodes d'oscillations propres véritablement égales, ne serait-ce que parce qu'on leur assure rarement en service une exacte répartition de la charge et un même facteur de puissance.

Note III.

Réduction du système d'équations (21) au système d'équations présentant la forme (25) et ordre de grandeur des coefficients $\alpha_1, \alpha_2, \ldots \gamma_n$ des termes d'amortissement. — Il s'agit d'effectuer les transformations nécessaires pour amener à la forme

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d^2 q_1}{dt^2} + \lambda_1 q_1 + \alpha_1 q'_1 + \beta_1 q'_2 + \ldots + \gamma_1 q'_n = 0\\
&\frac{d^2 q_2}{dt^2} + \lambda_2 q_2 + \alpha_2 q'_1 + \beta_2 q'_2 + \ldots + \gamma_2 q'_n = 0\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\frac{d^2 q_n}{dt^2} + \lambda_n q_n + \alpha_n q'_1 + \beta_n q'_2 + \ldots + \gamma_n q'_n = 0
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

le système des équations (21), que nous écrivons de nouveau

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \theta'_1} + \frac{\partial V}{\partial \theta_1} + \frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} = 0\\
&\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \theta'_2} + \frac{\partial V}{\partial \theta_2} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} = 0\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial \theta'_n} + \frac{\partial V}{\partial \theta_n} + \frac{C_{an}}{C_{sn}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n} = 0.
\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Ecrivons les fonctions quadratiques, T, V, F, sous la forme générale suivante, en tenant compte de l'identité des coefficients des formes V et F,

$$\left.\begin{aligned}
2T &= a_{11}\theta'^2_1 + a_{22}\theta'^2_2 + \ldots + a_{nn}\theta'^2_n + 2a_{12}\theta'_1\theta'_2\\
&\quad + 2a_{13}\theta'_1\theta'_3 + \ldots\\
2V &= b_{11}\theta_1^2 + b_{22}\theta_2^2 + \ldots + b_{nn}\theta_n^2 + 2b_{12}\theta_1\theta_2\\
&\quad + 2b_{13}\theta_1\theta_3 + \ldots\\
2F &= b_{11}\theta'^2_1 + b_{22}\theta'^2_2 + \ldots + b_{nn}\theta'^2_n + 2b_{12}\theta'_1\theta'_2\\
&\quad + 2b_{13}\theta'_1\theta'_3 + \ldots
\end{aligned}\right\} \quad (3)$$

avec $a_{ji} = a_{ij}$, $b_{ji} = b_{ij}$. Indiquons d'abord la méthode de transformation qui conduit en mécanique, pour les systèmes dépourvus d'amortissement, à la forme dite « normale » des équations du mouvement. Faisons abstraction dans les équations (2) des termes d'amortissement $\frac{C_a}{C_s}\frac{\partial F}{\partial \theta}$; multiplions ces équations par des coefficients numériques indéterminés $m_1, m_2, \ldots m_n$ et additionnons membre à membre. On obtient ainsi une équation de la forme

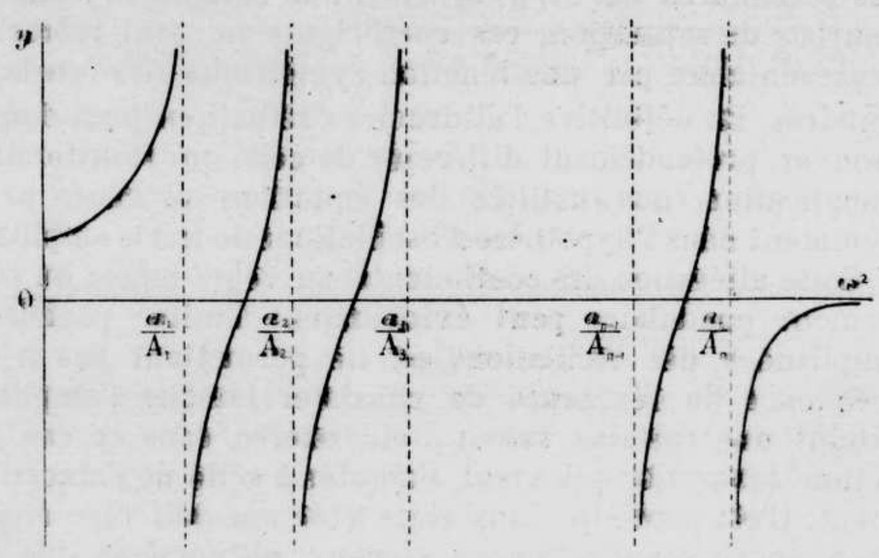


Fig. 5. — Courbes définies par la fonction $y = f(\omega^2)$.

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \lambda q = 0$$

dans laquelle la variable q a pour expression

$$q = h_1\theta_1 + h_2\theta_2 + \ldots + h_n\theta_n$$

en posant

$$\left.\begin{aligned}
h_1 &= a_{11}m_1 + a_{12}m_2 + \ldots + a_{1n}m_n\\
h_2 &= a_{21}m_1 + a_{22}m_2 + \ldots + a_{2n}m_n\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
h_n &= a_{n1}m_1 + a_{n2}m_2 + \ldots + a_{nn}m_n
\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

et sous la condition que les constantes $m_1, m_2 \ldots h_1, h_2 \ldots$ et λ satisfassent aux équations

$$\left.\begin{aligned}
&b_{11}m_1 + b_{12}m_2 + \ldots + b_{1n}m_n\\
&\quad = \lambda(a_{11}m_1 + a_{12}m_2 + \ldots + a_{1n}m_n) = \lambda h_1\\
&b_{21}m_1 + b_{22}m_2 + \ldots + b_{2n}m_n\\
&\quad = \lambda(a_{21}m_1 + a_{22}m_2 + \ldots + a_{2n}m_n) = \lambda h_2\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&b_{n1}m_1 + b_{n2}m_2 + \ldots + b_{nn}m_n\\
&\quad = \lambda(a_{n1}m_1 + a_{n2}m_2 + \ldots + a_{nn}m_n) = \lambda h_n.
\end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Ces équations ne peuvent évidemment admettre un système de solutions $m_1, m_2, \ldots m_n$, que si le facteur λ reçoit une valeur qui vérifie l'équation

$$\begin{vmatrix} a_{11}\lambda - b_{11} & a_{12}\lambda - b_{12} & \ldots & a_{1n}\lambda - b_{1n} \\ a_{21}\lambda - b_{21} & a_{22}\lambda - b_{22} & \ldots & a_{2n}\lambda - b_{2n} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots & \ldots\ldots \\ a_{n1}\lambda - b_{n1} & a_{n2}\lambda - b_{n2} & \ldots & a_{nn}\lambda - b_{nn} \end{vmatrix} = 0. \quad (6)$$

A chaque valeur λ, racine de cette équation, correspond un système de solutions $m_1, m_2, \ldots m_n$ qui satisfait aux équations (5).

Par conséquent, si l'équation (6) admet n racines réelles λ, distinctes ou non, il existe n systèmes de coefficients $h_1, h_2, \ldots h_n$, correspondant aux n valeurs λ, qui transforment les équations proposées (2) $\left(\text{privées des termes } \frac{\partial F}{\partial \theta'}\right)$, en un système *normal*

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2 q_1}{dt^2} + \lambda_1 q_1 &= 0 \\ \frac{d^2 q_2}{dt^2} + \lambda_2 q_2 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \\ \frac{d^2 q_n}{dt^2} + \lambda_n q_n &= 0. \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Rappelons d'ailleurs que l'on démontre que les racines λ de l'équation (6) sont réelles, si la forme quadratique T est une forme définie positive, et on établit en outre que ces racines λ sont des nombres positifs, si les déterminants $\Delta_1, \Delta_2, \ldots \Delta_n$ (définis plus haut) sont tous positifs.

Dans ces conditions, les équations (7) représentent par conséquent un système stable d'oscillations pendulaires non amorties. Or, il résulte des expressions des coefficients $a_{11}, a_{12}, a_{22}, \ldots a_{nn}, b_{11}, b_{12}, \ldots b_{nn}$ dans notre problème, que le déterminant Δ_1 est identiquement nul, mais que toutes les autres conditions sont, à coup sûr, satisfaites, lorsque les coefficients $a_1, a_2, \ldots a_n$, qui figurent dans la relation

$$\gamma = a_1\theta_1 + a_2\theta_2 + \ldots + a_n\theta_n$$

sont tous positifs, ainsi que les couples synchronisants $C_{s1}, C_{s2}, \ldots C_{sn}$. Il en est ainsi dans la plupart des applications et je me placerai dans cette hypothèse. Comme on l'a vu, une racine λ est nulle et il en résulte que le système ne comporte que $n-1$ modes normaux d'oscillations; les autres racines sont réelles et positives.

Pour cette raison, je les désignerai désormais par $\omega^2_1, \omega_2^2, \ldots \omega^2_{n-1}$, au lieu de $\lambda_1, \lambda_2, \ldots$, et d'une façon générale, j'écrirai ω^2 au lieu de λ, de manière à mettre en évidence la nature physique de ces quantités.

Ces préliminaires étant exposés, considérons maintenant les équations complètes (2) avec leurs termes d'amortissement et effectuons sur ces équations les opérations qui viennent de conduire aux cordonnées normales. On aboutira évidemment à un système d'équations de la forme

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + \omega_i^2 q_i + f\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\theta'_1, \quad \frac{C_{a2}}{C_{s2}}\theta'_2, \quad \ldots \quad \frac{C_{an}}{C_{sn}}\theta'_n\right) = 0;$$

f désignant une fonction linéaire et homogène; c'est cette fonction dont nous allons étudier la transformation lorsque l'on passe des coordonnées θ aux coordonnées normales q.

Remarquons que les relations de définition (4) peuvent aussi bien s'écrire

$$h_1 = \frac{1}{\omega^2}(b_{11}m_1 + b_{12}m_2 + \ldots + b_{1n}m_n)$$

$$h_2 = \frac{1}{\omega^2}(b_{21}m_1 + b_{22}m_2 + \ldots + b_{2n}m_n)$$

$$\ldots\ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$h_n = \frac{1}{\omega^2}(b_{n1}m_1 + b_{n2}m_2 + \ldots + b_{nn}m_n)$$

et par conséquent, puisque $b_{ji} = b_{ij}$, on a pour expression d'une variable q correspondant à une racine λ (ou ω^2) de l'équation (6) et aux $m_1, m_2, \ldots m_n$ qui en résultent

$$q = h_1\theta_1 + h_2\theta_2 + \ldots + h_n\theta_n \quad (8)$$

$$= \frac{1}{\omega^2}\left(m_1\frac{\partial V}{\partial \theta_1} + m_2\frac{\partial V}{\partial \theta_2} + \ldots + m_n\frac{\partial V}{\partial \theta_n}\right). \quad (9)$$

Comme les coefficients $b_{11}, b_{22}, \ldots b_{12} \ldots$ qui figurent dans l'expression de la fonction quadratique F sont les mêmes que ceux de la forme V, on voit immédiatement, en dérivant (9), que l'on peut écrire

$$q' = \frac{1}{\omega^2}\left(m_1\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_2\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} + \ldots + m_n\frac{\partial F}{\partial \theta'_n}\right);$$

ou plus explicitement, en donnant aux coefficients $m_1, m_2, \ldots m_n$ un premier indice correspondant à celui de chaque racine ω^2 qui les détermine

$$\left.\begin{aligned} \omega_1^2 q'_1 &= m_{11}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{12}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} + \ldots + m_{1n}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n} \\ \omega_2^2 q'_2 &= m_{21}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{22}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} + \ldots + m_{2n}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots & \\ \omega_n^2 q'_n &= m_{n1}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{n2}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} + \ldots + m_{nn}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Multiplions d'autre part les équations (2) respectivement par les coefficients $m_{i1}, m_{i2}, \ldots m_{in}$ qui correspondent à une racine ω_i^2, et additionnons; il vient successivement

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d^2 q_1}{dt^2} + \omega_1^2 q_1 + m_{11}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{12}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} \\ &\qquad + \ldots + m_{1n}\frac{C_{an}}{C_{sn}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n} = 0 \\ &\frac{d^2 q_2}{dt^2} + \omega_2^2 q^2 + m_{21}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{22}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} \\ &\qquad + \ldots + m_{2n}\frac{C_{an}}{C_{sn}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n} = 0 \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\frac{d^2 q_n}{dt^2} + \omega_n^2 q_n + m_{n1}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{n2}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} \\ &\qquad + \ldots + m_{nn}\frac{C_{an}}{C_{sn}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n} = 0. \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Il convient peut-être de faire remarquer que, dans le problème qui nous occupe concernant n machines synchrones, une des n racines ω^2, la racine ω_n^2, par exemple, est nulle, ainsi que la coordonnée normale correspondante q_n et ses dérivées; mais comme cette particularité n'apporte aucun changement essentiel dans la démonstration, je conserverai, pour la symétrie, les systèmes d'équations (10) et (11) tels qu'ils sont écrits.

Cherchons alors à effectuer la réduction aux coordonnées normales $q_1, q_2, \ldots q_n$, des sommes de termes d'amortissement telles que

$$m_{11}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_1} + m_{12}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_2} + \ldots + m_{1n}\frac{C_{an}}{C_{sn}}\frac{\partial F}{\partial \theta'_n}. \quad (12)$$

Faisons remarquer d'abord que le changement de variables défini par les équations

$$q = h_1\theta_1 + h_2\theta_2 + \ldots + h_n\theta_n,$$

c'est-à-dire, plus explicitement

$$\left.\begin{aligned} q_1 &= h_{11}\theta_1 + h_{12}\theta_2 + \ldots + h_{1n}\theta_n \\ q_2 &= h_{21}\theta_1 + h_{22}\theta_2 + \ldots + h_{2n}\theta_n \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ q_n &= h_{n1}\theta_1 + h_{n2}\theta_2 + \ldots + h_{nn}\theta_n \end{aligned}\right\} \quad (13)$$

(où le premier indice d'un coefficient tel que h_{im} indique que la racine ω_i^2 est à introduire dans l'expression de h_{im}), a conduit au système (7) dans lequel chaque équation ne renferme plus qu'une seule variable, lorsqu'on fait abstraction des termes d'amortissement. On en conclut que le changement de variables (13) a transformé les fonctions T et V en formes quadratiques où les variables ne figurent que par leurs carrés

$$T = \frac{1}{2}(q'_1{}^2 + q'_2{}^2 + \ldots + q'_n{}^2)$$

$$V = \frac{1}{2}(\omega_1^2 q_1^2 + \omega_2^2 q_2^2 + \ldots + \omega_n^2 q_n^2).$$

Cette réduction simultanée de deux formes quadratiques à des sommes de carrés peut être regardée d'ailleurs comme la condition même pour que les variables q soient des coordonnées normales. Comme les fonctions V et F possèdent les mêmes coefficients, ce changement de variables réduit en même temps la forme F à la somme de carrés

$$F = \frac{1}{2}(\omega_1^2 q'_1{}^2 + \omega_2^2 q'_2{}^2 + \ldots + \omega_n^2 q'_n{}^2). \quad (14)$$

En tenant compte de cette expression de F, la somme (12) peut s'écrire, en nous bornant au cas de trois machines, pour la simplicité de l'écriture

$$\left(m_{11}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial q'_1}{\partial \theta'_1} + m_{12}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial q'_1}{\partial \theta'_2} + m_{13}\frac{C_{a3}}{C_{s3}}\frac{\partial q'_1}{\partial \theta'_3}\right)\omega_1^2 q'_1$$
$$+\left(m_{11}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial q'_2}{\partial \theta'_1} + m_{12}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial q'_2}{\partial \theta'_2} + m_{13}\frac{C_{a3}}{C_{s3}}\frac{\partial q'_2}{\partial \theta'_3}\right)\omega_2^2 q'_2$$
$$+\left(m_{11}\frac{C_{a1}}{C_{s1}}\frac{\partial q'_3}{\partial \theta'_1} + m_{12}\frac{C_{a2}}{C_{s2}}\frac{\partial q'_3}{\partial \theta'_2} + m_{13}\frac{C_{a3}}{C_{s3}}\frac{\partial q'_3}{\partial \theta'_3}\right)\omega_3^2 q'_3$$

ou, à cause des formules (13),

$$\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}m_{11}h_{11} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}m_{12}h_{12} + \frac{C_{a3}}{C_{s3}}m_{13}h_{13}\right)\omega_1^2 q'_1$$
$$+\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}m_{11}h_{21} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}m_{12}h_{22} + \frac{C_{a3}}{C_{s3}}m_{13}h_{23}\right)\omega_2^2 q'_2$$
$$+\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}m_{11}h_{31} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}m_{12}h_{32} + \frac{C_{a3}}{C_{s3}}m_{13}h_{33}\right)\omega_3^2 q'_3.$$

Il est facile de montrer que les coefficients de $\omega_1^2 q'_1$, $\omega_2^2 q'_2$, $\omega_3^2 q'_3$ sont de l'ordre de grandeur des rapports $\frac{C_a}{C_s}$. En effet, les relations de définition (4) fournissent immédiatement, puisque les coefficients a_{ij} des termes rectangles de la forme quadratique T sont tous nuls dans le cas actuel

$$h_{11} = m_{11}a_{11}, \quad h_{12} = m_{12}a_{22}, \quad \ldots \quad h_{21} = m_{21}a_{11}, \quad \ldots;$$

par conséquent, les sommes ci-dessus ont pour expression

$$\left.\begin{aligned} &\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}m_{11}^2 a_{11} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}m_{12}^2 a_{22} + \frac{C_{a3}}{C_{s3}}m_{13}^2 a_{33}\right)\omega_1^2 q'_1 \\ &+\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}m_{11}m_{21}a_{11} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}m_{12}m_{22}a_{22} + \frac{C_{a3}}{C_{s3}}m_{13}m_{23}a_{33}\right)\omega_2^2 q'_2 \\ &+\left(\frac{C_{a1}}{C_{s1}}m_{11}m_{31}a_{11} + \frac{C_{a2}}{C_{s2}}m_{12}m_{32}a_{22} + \frac{C_{a3}}{C_{s3}}m_{13}m_{33}a_{33}\right)\omega_3^2 q'_3 \end{aligned}\right\} \quad (15)$$

Or, si nous effectuons la même suite de calculs sur l'expression

$$m_{11}\frac{\partial V}{\partial \theta_1} + m_{12}\frac{\partial V}{\partial \theta_2} + m_{13}\frac{\partial V}{\partial \theta_3},$$

qui se réduit, comme on l'a vu (équation (7)), à la simple valeur $\omega_1^2 q_1$, on obtient évidemment une expression qui ne diffère de (15) que par $\omega_1^2 q_1$, $\omega_2^2 q_2$, $\omega_3^2 q_3$ au lieu de $\omega_1^2 q'_1$, $\omega_2^2 q'^2$, $\omega_3^2 q'_3$ et par l'absence des coefficients $\frac{C_a}{C_s}$, tous remplacés par l'unité. Par conséquent

$$m_{11}^2 a_{11} + m_{12}^2 a_{22} + m_{13}^2 a_{33} = 1. \quad (16)$$

Cette équation montre que chacun des termes est inférieur à l'unité et, par suite, chacun des termes des coefficients de $\omega_1^2 q'_1$ dans (15) est inférieur au produit de l'unité par le facteur $\frac{C_a}{C_s}$ qui lui est affecté.

Pour s'assurer qu'il en est de même de chacun des termes des coefficients de $\omega_2^2 q'^2$ et de $\omega_3^2 q'_3$, il suffit de remarquer que les mêmes opérations effectuées sur les équations (2) à l'aide des multiplicateurs correspondant aux racines ω^2_2 et ω_3^2 de l'équation (6), conduisent aux relations suivantes:

$$\left.\begin{aligned} m_{21}^2 a_{11} + m_{22}^2 a_{22} + m_{23}^2 a_{33} &= 1 \\ m_{31}^2 a_{11} + m_{32}^2 a_{22} + m_{33}^2 a_{33} &= 1. \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

On déduit de (16) et (17)

$$m_{11}^2 a_{11} < 1 \qquad m_{12}^2 a_{22} < 1 \qquad m_{13}^2 a_{33} < 1$$
$$m_{21}^2 a_{11} < 1 \qquad \ldots, \text{ etc.}$$

et par conséquent

$$m_{11}m_{21}a_{11} < 1 \qquad m_{12}m_{22}a_{22} < 1 \quad \ldots \text{ etc.}$$

Il est ainsi établi que les coefficients α_i, $\beta_i, \ldots \gamma_i$ de l'équation

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + \omega_i^2 q_i + \alpha_i q'_1 + \beta_i q'_2 + \ldots + \gamma_i q'_n = 0$$

sont respectivement inférieurs à

$$\omega_1^2 \sum \frac{C_a}{C_s}, \quad \omega_2^2 \sum \frac{C_a}{C_s}, \ldots \omega_n^2 \sum \frac{C_a}{C_s}$$

en désignant par $\sum \frac{C_a}{C_s}$ la somme des rapports $\frac{C_a}{C_s}$ qui figurent dans les équations.

Je dis alors que si ces coefficients sont assez petits pour que leurs carrés puissent être négligés devant toutes les quantités ω_1^2, $\omega_2^2 \ldots \omega_n^2$, les périodes d'oscillation sont approximativement les mêmes que celles du système supposé dépourvu d'amortissement. Considérons, en effet, l'équation caractéristique du système (1) réduit à trois équations par exemple

$$\begin{vmatrix} r^2 + \alpha_1 r + \omega_1^2 & \beta_1 r & \gamma_1 r \\ \alpha_2 r & r^2 + \beta_2 r + \omega_2^2 & \gamma_2 r \\ \alpha_3 r & \beta_3 r & r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (18)$$

Substituons aux inconnues r les racines r_1, r_2, r_3 de l'équation caractéristique du système non amorti, c'est-à-dire

$$r_1 = \pm j\omega_1, \qquad r_2 = \pm j\omega_2, \qquad r_3 = \pm j\omega_3;$$

le développement du déterminant (18) peut s'écrire

$$\left.\begin{aligned} &(r^2 + \alpha_1 r + \omega_1^2)(r^2 + \beta_2 r + \omega_2^2)(r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2) \\ &\quad + \text{des termes de la forme } \alpha_2 \beta_3 \gamma_1 r^3 \\ &\quad + \text{des termes de la forme } \beta_1 \alpha_2 r^2 (r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2). \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

Voyons la condition pour que $r_1 = j\omega_1$, par exemple, soit solution approchée. Il faut tout d'abord que la seconde et la troisième lignes ci-dessus prennent ainsi des valeurs négligeables en regard du terme $\omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2$ qui figure dans la première ligne; ceci s'exprime par les conditions suivantes, (en adoptant le symbole $<<$ pour signifier « beaucoup plus petit que »)

$$\alpha_2 \beta_3 \gamma_1 \omega_1^3 << \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2$$
$$\beta_1 \alpha_2 \omega_1^4 << \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2,$$

ou, en remplaçant les coefficients α, β, γ par les valeurs majorantes obtenues plus haut

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^3 \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2 \omega_1^3 << \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2$$

et

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2 \omega_2^2 \omega_3^2 \omega_1^4 << \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2$$

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2 \omega_3^2 \omega_1^2 . \omega_1^4 << \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2$$

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2 \omega_1^2 \omega_2^2 . \omega_1^4 << \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^2.$$

Si nous supposons alors que ω_1 est la plus grande des quantités ω, ces inégalités seront à fortiori satisfaites lorsqu'on substitue à r les solutions $j\omega_2$ et $j\omega_3$, En désignant alors par ω_{max} la plus grande et par ω_{min} la plus petite des quantités ω, on peut affirmer que ces conditions sont satisfaites, si on a (conditions suffisantes, non nécessaires)

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^3 \omega^3_{max} << 1$$

et

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2 \omega^4_{max} << \omega^2_{min}. \quad (20)$$

Mais la première condition est toujours vérifiée lorsque la seconde est satisfaite; cette inégalité (20) représente donc, à elle seule, la condition à retenir.

Le déterminant (18) se trouvant ainsi réduit à sa diagonale principale

$$(r^2 + \alpha_1 r + \omega_1^2)(r^2 + \beta_2 r + \omega_2^2)(r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2),$$

l'équation caractéristique a pour racines celles des équations que l'on obtient en égalant à zéro chacun de ses trois facteurs

$$r^2 + \alpha_1 r + \omega_1^2 = 0$$
$$r^2 + \beta_2 r + \omega_2^2 = 0$$
$$r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2 = 0$$

et on voit immédiatement que, si la condition (20) est satisfaite, les racines de ces équations se réduisent effectivement à

$$r_1 = j\omega_1, \qquad r_2 = j\omega_2, \qquad r_3 = j\omega_3.$$

La condition (20) peut également s'écrire

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2 \left(\frac{4\pi^2}{T^2_{min}}\right)^2 << \frac{4\pi^2}{T^2_{max}},$$

T_{min} et T_{max} désignant respectivement la plus petite et la plus grande des périodes d'oscillations normales du système sans amortissement. Par conséquent si $\sum \frac{C_a}{C_s}$ est de l'ordre de $\frac{1}{100}$, et les quantités $\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2}$ de l'ordre de 100, la condition indiquée se trouve satisfaite : c'est le cas fréquemment pour les alternateurs conduits par moteur à gaz. Par contre, les valeurs ω^2, qui se présentent avec les commutatrices, sont souvent beaucoup plus élevées et les $\left(\frac{C_a}{C_s}\right)$ étant aussi plus grands, la condition (20) peut ne pas se trouver remplie. Il est prudent, dans ce cas, de rechercher les périodes de résonance au moyen de l'expression des écarts angulaires (formule (16) dans le texte de l'article), en construisant la courbe des écarts angulaires en fonction de la période des impulsions prise comme variable; ceci fait connaître dans quelle mesure les périodes de résonance se trouvent éloignées ou rapprochées des périodes des couples harmoniques figurant dans les diagrammes des couples moteurs ou résistants appliqués aux machines synchrones.

Ch. GALMICHE.

Revues, analyses et informations

Conversion statique de fréquence et harmoniques (1).

1. Multiplication de la fréquence. — On connaît, depuis longtemps, le moyen d'obtenir un courant de fréquence multiple de celle du courant d'alimentation, en se servant des harmoniques de ce dernier.

L'opération peut être considérée, tout au moins en principe, comme se faisant en deux phases successives. Dans l'une, on déforme d'abord l'oscillation primitive, que l'on peut d'ailleurs supposer pratiquement sinusoïdale, de façon à faire apparaître l'harmonique désiré avec une amplitude aussi grande que possible. Dans l'autre, on tâche d'isoler cet harmonique, en le séparant, d'une part, des autres harmoniques qui ont été produits en même temps et, d'autre part, du terme fondamental.

Pour la première opération, on doit recourir à un circuit dans lequel le paramètre caractéristique réglant le passage du courant n'est pas constant et varie pendant la période fondamentale. On obtient ce résultat au moyen de diodes, triodes avec accouplement par résistances entre plaque et grille, dispositif à contacts imparfaits analogues à ceux qui sont utilisés dans certains redresseurs, etc.

La deuxième phase est réalisée au moyen d'un circuit résonant mettant en évidence l'harmonique considéré; on peut aussi éliminer l'onde fondamentale, dont l'importance est toujours notable, au moyen d'un circuit filtre, d'un dispositif de pont ou d'une méthode d'opposition de circuits.

Toutefois, lorsque le rapport des fréquences est supérieur à quelques unités, il n'est généralement pas possible de réaliser un dispositif de déformation qui donne un harmonique déterminé suffisamment accentué par rapport aux autres. Il convient alors de réaliser une forme d'onde à très brusque variation (onde rectangulaire) et d'employer un circuit d'isolement de l'harmonique choisi d'autant plus sélectif que le rapport de multiplication est plus élevé.

2. Réduction de la fréquence. — Le phénomène inverse pour lequel on peut obtenir un courant de basse fréquence en partant d'un courant de fréquence multiple de celle désirée, n'est connu, par contre, que depuis quelques années. MM. Mauduit, Fallou et Rouelle ont publié, sur ce phénomène, des études (2) qui permettent de se rendre compte de sa production.

Le dispositif le plus simple pour arriver à ce résultat consiste à former un circuit comportant, en série, une résistance, une inductance à noyau de fer et un condensateur. Il est possible, en réglant convenablement le circuit, d'obtenir aux bornes de ce dernier un courant dont la fréquence est un sous-multiple de celle du courant appliqué aux bornes du circuit. Ces oscillations de plus basse fréquence ne sont évidemment pas sinusoïdales et elles comportent, en particulier, comme harmonique important celui de fréquence égale à celle du courant d'alimentation. Il faut noter que pour amorcer le courant à fréquence basse, il est nécessaire de produire sur le circuit une très brusque variation du régime, par exemple de supprimer brusquement un court-circuit établi au préalable sur la réactance.

L'oscillation de basse fréquence exige d'ailleurs, pour ne pas être amortie, la présence d'un circuit résonant et ne se maintient que pour des limites assez rapprochées du réglage des caractéristiques du circuit. Au delà de ces limites, le phénomène disparaît, ou bien le courant produit a une fréquence qui est sans relation directe avec celle du courant d'alimentation.

Ceci est une caractéristique très importante qui différentie très nettement les phénomènes de multiplication et de réduction de fréquence par des dispositifs statiques.

3. Multiplication et réduction de la fréquence au moyen de triodes. — Divers dispositifs ont été imaginés pouvant donner à volonté la multiplication de la fréquence ou la réduction de celle-ci (1). A côté des systèmes statiques auquels nous venons de faire allusion, il y a lieu de mentionner aussi le cas du moteur synchrone à fer tournant, qui peut fonctionner avec une vitesse de rotation correspondant à une fréquence multiple ou sous-multiple de celle qui correspond normalement au nombre de pôles.

On peut chercher à réaliser la réversibilité du phénomène en partant de circuits comportant des lampes triodes. Parmi les nombreux dispositifs permettant d'arriver à ce résultat, l'un des plus simples est représenté en figure 1. Il comporte

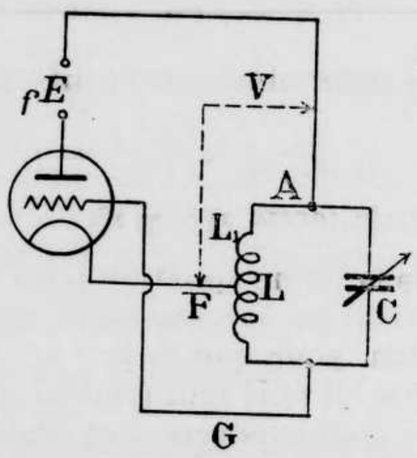


Fig. 1. — Montage d'un triode permettant d'obtenir la multiplication ou la réduction de la fréquence du courant d'alimentation.

un circuit de résonance avec capacité réglable branché sur le circuit de plaque et grille du triode et une prise intermé-

(1) P. Vecchiacchi. *L'Elettrotecnica*, 5 janvier 1930, t. xvii, p. 2-10, 6 000 mots, 20 figures.

(2) J. Fallou; Sur un démultiplicateur de fréquence statique. *Revue générale de l'Electricité*, 19 juin 1926, t. xix, p. 987-991. — J. Fallou et A. Mauduit. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 1er février 1926, t. clxxxii, p. 312-313.

(1) A. Blondel; Sur la réversibilité des multiplicateurs de fréquence à noyau de fer. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 1er février 1926, t. clxxxii, p. 297-299, communication reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 27 février 1926, t. xix, p. 339-340.

E. Rouelle; Sur le démultiplicateur de fréquence ferromagnétique. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 19 décembre 1927, t. clxxxv p. 1450-1452, note reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 14 janvier 1928, t. xxiii, p. 78. — Sur quelques propriétés du démultiplicateur de fréquence. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 23 janvier 1928, t. clxxxvi, p. 224-226, note reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 17 mars 1928, t. xxiii, p. 498. — Sur l'emploi du démultiplicateur de fréquence ferromagnétique comme multiplicateur de phases. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 11 juin 1928, t. clxxxvi, p. 1603-1605, note reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 28 juillet 1928, t. xxiv, p. 15-152. — Sur une nouvelle catégorie de multiplicateurs de fréquence ferromagnétique. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 2 juillet 1928, t. clxxxvii, p. 39-41, note reproduite dans la *Revue générale de l'Electricité*, 8 septembre 1928, t. xxiv, p. 355.

diaire sur l'inductance de ce circuit de résonance, qui est branchée sur le filament du même triode. Cette prise supplémentaire détermine une portion L_1 de l'inductance totale L aux bornes de laquelle est relevée la tension V à une fréquence n fois plus basse que celle de la tension d'alimentation en E.

Il est facile de se rendre compte du fonctionnement en examinant la figure 2 qui donne successivement de I à V les graphiques de la tension d'alimentation E, de la tension

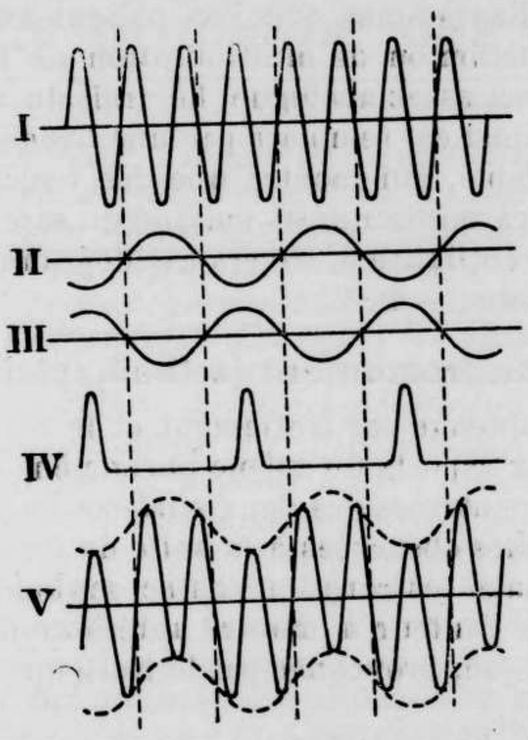


Fig. 2. — Courbes des différentes grandeurs (courant et tensions) correspondant au montage de la figure 1 : I, tension d'alimentation E; II, tension entre les points A et F; III, tension de grille; IV, courant de plaque; V, tension de plaque.

entre A et F, de la tension de grille (égale et opposée en phase à la précédente), du courant et de la tension de plaque. Cette figure correspond au cas d'un courant parfaitement sinusoïdal, le circuit oscillant étant accordé exactement sur la fréquence sous-multiple.

Il existe un certain intervalle pour réaliser cet accord, pour lequel la réduction de la fréquence se fait encore dans un rapport rigoureux ; mais, en dehors de cet intervalle, les oscillations à basse fréquence ne sont plus continues et sont modulées à une fréquence plus basse sans relation harmonique avec la fréquence du circuit d'alimentation.

Cet intervalle diminue lorsqu'augmente le rapport suivant lequel a lieu la réduction des fréquences. D'une étendue notable pour un rapport égal à 2, il est fortement réduit pour un rapport égal à 3 et décroît très rapidement pour les valeurs supérieures.

4. Essai de fonctionnement dans l'intervalle de synchronisation. — L'auteur rapporte les résultats d'essais qui ont été exécutés avec le montage de la figure 1, les caractéristiques des divers éléments étant les suivantes :

Triode :

Résistance intérieure	8 000 ohms environ
Coefficient d'amplification	9 environ
Courant de saturation	30 mA

Circuit d'accord :

Résistance équivalente entre les points A et F, pour la fréquence de 19 500 p:s	8 000 ohms environ
Valeur du décrément	0,1 environ
Rapport de la tension V à la tension de grille V_g	1 environ

La tension d'alimentation, sensiblement sinusoïdale, a été maintenue, pendant toute la durée des expériences, à la valeur de 107 v.

Ces expériences ont consisté dans : 1° l'étude des variations d'amplitude du courant à travers le condensateur; 2° celle du déphasage; 3° le relevé à l'oscillographe du courant de plaque; 4° l'étude de la variation de l'intervalle de synchronisme en fonction du rapport de conversion.

On a relevé sur la figure 3 les courbes du courant dans le condensateur qui correspondent à la réduction de fréquence

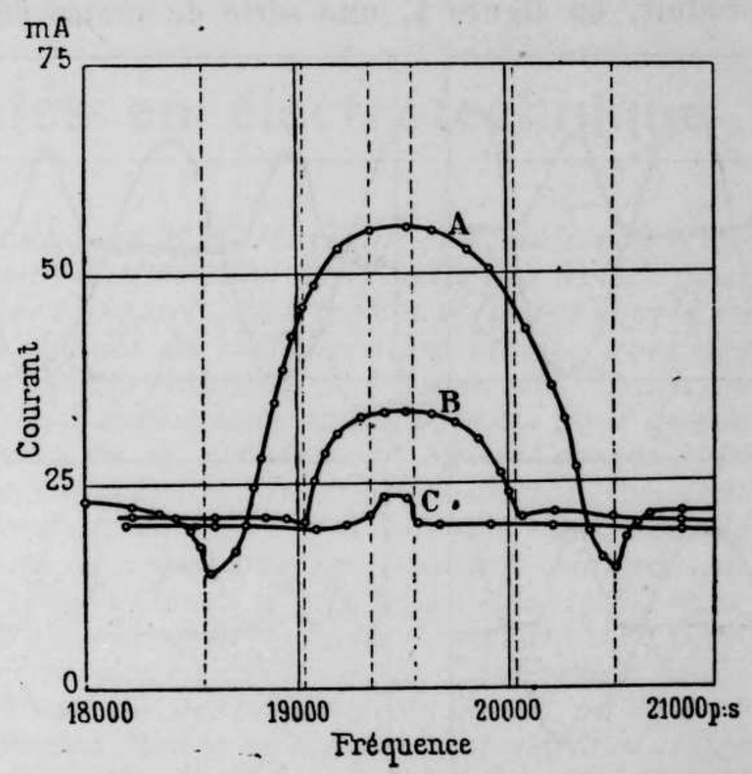


Fig. 3. — Courbes du courant traversant le condensateur C en fonction de la fréquence: A, B, C, courbes correspondant respectivement à un facteur de réduction de la fréquence de 1, 2 et 3.

dans les rapports 1, 2 et 3 tandis que les résultats correspondant à la multiplication de la fréquence (rapports 1/2 et 1/3 de la fréquence d'alimentation à la fréquence obtenue) sont reproduits en figure 4.

L'étude de la variation du déphasage a montré que si n est le rapport de réduction de la fréquence, cette variation de phase de l'oscillation transformée, mesurée en fonction même de cette fréquence, est égale à $\frac{\pi}{n}$. La correspondance

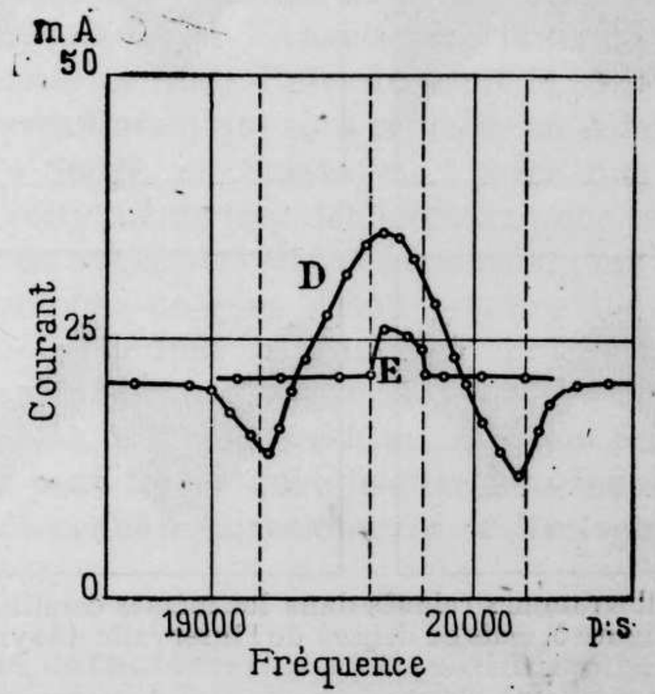
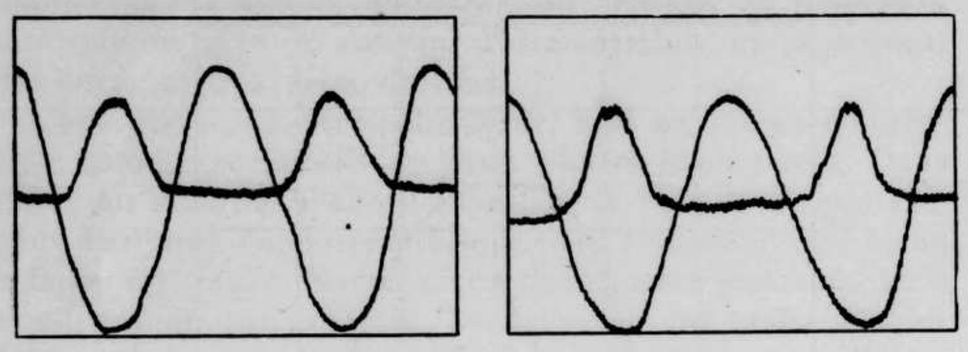


Fig. 4. — Courbes analogues à celles de la figure 3, mais établies pour une multiplication de la fréquence du courant d'amplification par 2 (courbe D) et par 3 (courbe E).

n'a pas été établie dans le cas d'une multiplication de la fréquence, mais il est probable qu'une loi analogue peut être utilisée.

On trouve dans l'article original la reproduction de

nombreux relevés oscillographique dont certains se rapportent au cas de la multiplication de la fréquence et d'autres, au cas de la réduction. Les formes des courbes relevées restent semblables quel que soit le point de synchronisme pour lequel l'expérience a été effectuée, mais elles sont d'autant plus accentuées qu'on se trouve plus près du milieu de l'intervalle de synchronisation. Nous avons reproduit, en figure 5, une série de quatre de ces



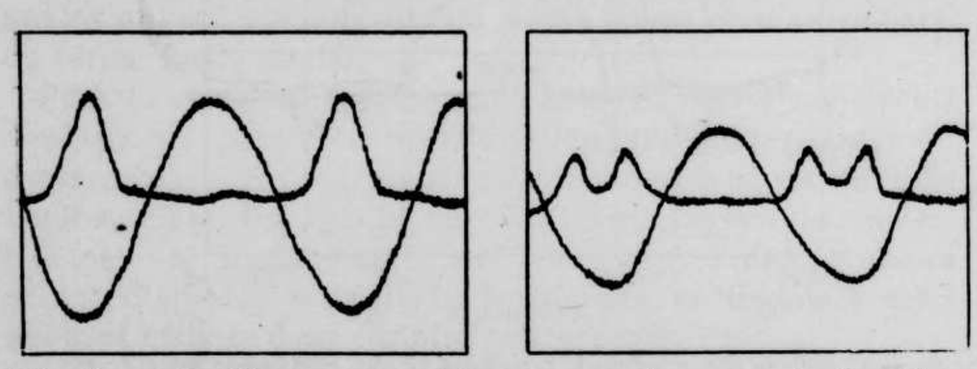


Fig. 5. — Oscillogrammes obtenus pour des rapports de réduction de la fréquence respectivement égaux à 1, 2, 3 et 4. Ils ont été relevés pour la position médiane de l'intervalle de synchronisation.

oscillogrammes correspondant au synchronisme le plus exact et établis respectivement pour le rapport 1 et pour des rapports de réduction de 2, 3 et 4.

En ce qui concerne l'amplitude de cet intervalle en fonction du rapport des fréquences, on se fera une idée de sa

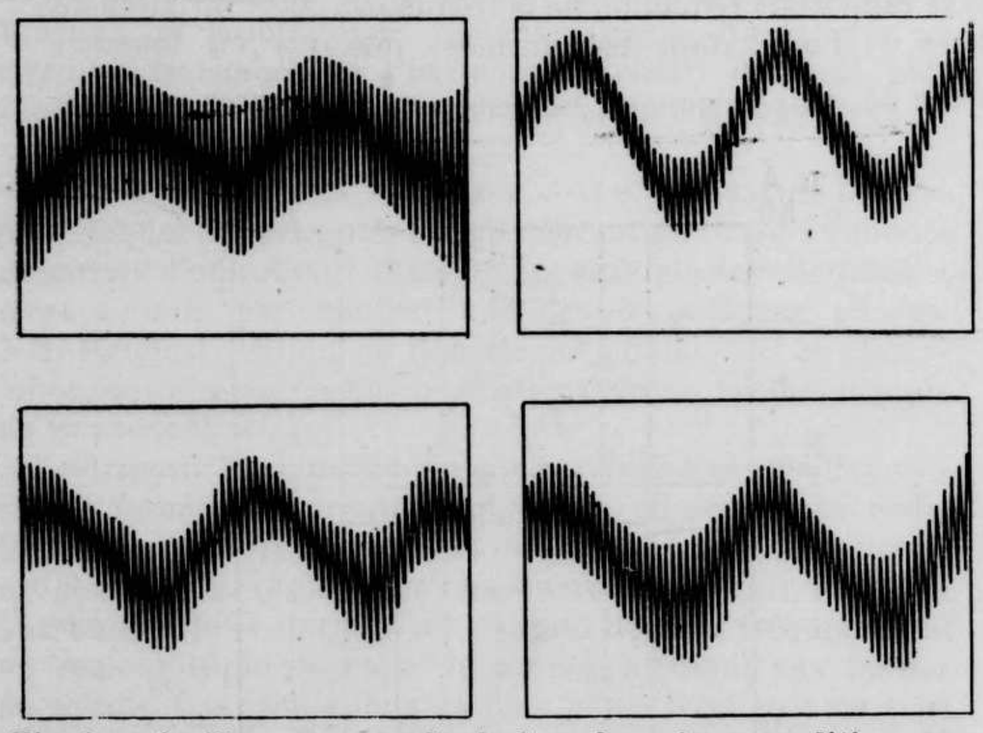


Fig. 6. — Oscillogrammes relevés dans les mêmes conditions que ceux de la figure 5, mais en dehors de l'intervalle de synchronisation.

variation très rapide par l'examen des nombres ci-après, qui sont relatifs à une conversion des courants avec réduction de fréquence.

Rapport de réduction de la fréquence.....	1	2	3	4	6	9	12
Etendue relative de l'intervalle, en centièmes.	9,5	5,5	1,5	0,5	0,25	0,07	0,03

5. Essai de fonctionnement en dehors de l'intervalle de synchronisme. — Il a été possible de réaliser, pour un rapport de 2 ou 3 et avec un accouplement suffisamment serré du circuit de grille le décrochage des oscillations en dehors de l'intervalle de synchronisation. L'auteur a pu également étudier le cas où les oscillations continuent à se produire, mais à une fréquence plus basse que dans l'intervalle de synchronisation. Il s'est servi, à cet effet, de relevés oscillographiques et de la méthode balistique de M. Paris. Les diagrammes que l'on obtient avec diverses valeurs de réduction ou de multiplication de la fréquence ont tous un aspect assez analogue. Le trait du relevé oscillographique normal est remplacé par une bande de largeur parfois considérable, qui montre que les tensions varient entre des valeurs minimum et maximum assez éloignées. On a reproduit, en figure 6, divers oscillogrammes relevés dans ces conditions. — B. E.

La nature du frottement (triboélectricité) [1].

L'électricité obtenue par frottement et le frottement lui-même sont deux aspects du même phénomène : la rupture des liaisons entre atomes des deux surfaces au contact. Les charges résiduelles observées à la suite du frottement sont plus grandes quand les corps au contact sont chimiquement différents, mais l'auteur a montré antérieurement qu'une différence physique, provoquée par le frottement lui-même, peut suffire.

Owen a établi que la vitesse de production des charges est proportionnelle à la puissance dépensée

$$\frac{dq}{dt} = a\,\frac{d\mathfrak{T}}{dt}$$

où q est la charge, $\mathfrak{T}$, le travail, t, le temps, et a une constante spécifique des corps employés.

D'autre part, la vitesse de fuites est proportionnelle à la puissance dépensée et à la charge accumulée

$$\frac{dq'}{dt} = b\,\frac{d\mathfrak{T}}{dt}\,Q,$$

où q' est la charge perdue par fuites ou par recombinaison, b est une constante de fuites et Q, la charge accumulée.

Mais on a, par définition

$$dQ = dq - dq' = (a - bQ)\,d\mathfrak{T}.$$

Il en résulte

$$Q = \frac{a}{b}\left(1 - e^{-b\mathfrak{T}}\right).$$

Pour des isolateurs différents, a est grand, b est petit, donc Q est grand. Pour des isolateurs semblables, a est petit, b est petit, Q est moyen.

D'après cette manière de voir, le frottement est, dans tous les cas, dû à la rupture de liaisons électriques, et il est proportionnel à la grandeur des charges séparées, si l'on néglige le travail employé aux déformations des surfaces frottantes.

L'auteur suppose, en définitive, que, quand deux solides sont mis au contact l'un de l'autre, il se produit toujours les phénomènes suivants : 1° au moment du contact, les deux solides s'unissent étroitement par leurs surfaces (l'auteur désigne cette union du nom de combinaison ; 2° au moment de la séparation, les liens formés entre les atomes des deux surfaces sont rompus et la rupture a lieu de telle sorte que les atomes séparés ne sont plus neutres. Au cours du frottement, le travail effectué est l'équivalent de l'énergie potentielle des charges séparées, à laquelle il faut ajouter le travail de déformation des surfaces. — L. B.

(1) P.-E. Shaw. *The philosophical Magazine*, avril 1930, t. IX (7e série), p. 628-639, 3 000 mots, 3 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Le problème des huiles isolantes en électrotechnique

En 1924, l'Union des Syndicats de l'Electricité avait chargé MM. H. Gault et T. Salomon d'entreprendre des recherches en vue de l'institution d'un essai d'altération artificielle des huiles pour transformateurs, destiné à remplacer l'essai actuellement prescrit. Les travaux furent repris en 1926 par MM. H. Weiss et T. Salomon et poursuivis depuis en collaboration étroite avec les différents organismes représentés à la Commission des Huiles isolantes de l'Union des Syndicats de l'Electricité. En 1927, les résultats obtenus étaient déjà suffisamment importants pour que le Comité électrotechnique français priât l'un des auteurs de le représenter officiellement à la Commission des Huiles isolantes de la Commission électrotechnique internationale (*). Ces travaux ont abouti à l'élaboration d'une nouvelle méthode d'altération artificielle en 1928, dont le principe est exposé dans l'article qui suit. La nécessité de comparer les résultats obtenus au laboratoire avec ceux fournis par la pratique a décidé les auteurs à organiser dès 1926, avec l'appui des entreprises de distribution d'énergie électrique, une série d'études d'altération in vivo, qui se poursuivent depuis 1927, sur une échelle plus vaste, sous l'égide de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension. Le présent article donne un aperçu général de l'état actuel de la question, à la base des diverses études effectuées tant au laboratoire de l'Ecole nationale supérieure du Pétrole et des Combustibles liquides de Strasbourg que par les membres de la Commission des Huiles isolantes de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension. Les auteurs y exposent les divers phénomènes qui prennent place dans l'huile au cours de son emploi et leur répercussion sur la sécurité de la marche des appareils ; ils montrent comment on peut suivre ces phénomènes par un essai de laboratoire et développent finalement quelques considérations générales sur lesquelles l'exploitant peut s'appuyer pour le choix d'une huile pour transformateurs.

I. **Introduction.** — La question des huiles isolantes, comme tous les problèmes techniques qui touchent un produit aussi complexe que l'huile minérale, est l'une de celles qui donnent naissance aux discussions à la fois les plus confuses et les plus passionnées à cause des gros intérêts industriels qu'elle soulève.

Avant la guerre cette question n'existait guère, car ces huiles, très bien raffinées, mises dans des appareils calculés très largement, n'avaient pas donné lieu à des ennuis. Pendant la guerre et les premières années qui la suivirent, il avait fallu faire appel à des sources qui ne les fournissaient pas habituellement et même, dans certains pays de l'Europe centrale, les remplacer par des huiles de nature très différente (huiles de goudron et huiles de résine). Beaucoup de ces huiles ne se montrèrent pas aussi stables que par le passé, d'autant plus que les conditions d'emploi devinrent de plus en plus sévères avec la tendance de construire des appareils toujours plus poussés et peu encombrants. Les huiles déposèrent, enorassant les bobinages, en détériorant les isolants ; parfois l'huile se trouvait convertie en un bloc noirâtre de consistance butyreuse. Des claquages de transformateurs se produisirent qui furent assez souvent attribuées aux huiles et l'on se préoccupa un peu partout d'établir des spécifications.

Ces études, dirigées seulement vers un but très étroit, ont conduit dans divers cahiers des charges au résultat suivant : deux groupes de cahiers des charges, très exigeants chacun de leur côté, acceptent une seule catégorie d'huile qui est refusée par l'autre et cependant les huiles reçues par ces deux groupes donnent chacune de bons résultats dans la pratique. Ainsi certains pays, comme l'Angleterre, la Belgique et en partie aussi les Etats-Unis, donnent la préférence aux huiles surraffinées, qui sont refusées en Allemagne, en Italie, en Suède, en Suisse, etc., parce que très mauvaises, voire même très dangereuses pour le transformateur. Le cahier des charges français, plus largement conçu, accepte un plus grand nombre de catégories d'huiles. Cependant un matériel d'observation déjà passablement important commence à être accumulé ; à condition de le soumettre à un examen critique très serré on peut tracer quelques larges avenues dans ce fouillis de connaissances éparses et diversement interprétées.

II. **Les caractéristiques des différentes catégories d'huiles isolantes employées en électrotechnique.** — Les huiles isolantes se divisent en trois groupes :

a) Les huiles pour câbles ; *b*) les huiles pour disjoncteurs ; *c*) les huiles pour transformateurs, dont chacun assume un rôle très différent et doit donc posséder des propriétés bien déterminées variant d'un groupe à l'autre.

(*) Voir : **Travaux du Comité d'Etudes des Huiles isolantes.** *Revue générale de l'Electricité*, 3 mars 1928, t. XXIII, p. 389-392.

1. Huiles pour cables. — Les huiles pour câbles servent à imprégner les couches de papier isolant le câble. Elles ne doivent pas être acides, pour éviter la destruction du papier et des effets de corrosion sur le métal; elles doivent assurer une imprégnation facile et complète du papier sans bulles d'air, avoir un faible coefficient d'expansion pour restreindre la variation du volume d'huile avec le changement de la température, qui déterminerait soit des sorties d'huile, soit l'apparition de « trous » dans le papier imprégné à chaud. Et « last but not least », les huiles doivent avoir une faible conductibilité électrique, qui n'augmente que peu au cours de l'usage.

2. Huiles pour disjoncteurs. — Le rôle des huiles pour disjoncteurs diffère essentiellement de celui des huiles pour câbles; elles doivent non seulement isoler les parties conductrices de l'interrupteur, mais aussi éteindre très rapidement l'arc électrique formé au moment du déclenchement. La température très élevée, créée par l'arc, détermine une action destructive de l'huile avec formation de charbon, d'une part, et de produits gazeux, d'autre part, les deux nuisibles pour le bon fonctionnement de l'appareil; le charbon encrasse les différents organes du disjoncteur; les produits gazeux peuvent constituer avec l'air contenu dans le disjoncteur un mélange détonant qui risque d'exploser au moment de l'amorçage d'un nouvel arc ou même instantanément si le premier arc n'est pas éteint suffisamment tôt.

Les huiles pour disjoncteurs doivent donc posséder les propriétés suivantes : être suffisamment fluides même à la température la plus basse atteinte dans la région dans laquelle l'appareil se trouve placé, afin d'assurer le fonctionnement impeccable de l'interrupteur à n'importe quelle époque de l'année et avoir une grande résistance contre l'action destructive de l'arc électrique en formant le moins possible de gaz et de produits charbonneux.

Les huiles pour câbles et les huiles pour disjoncteurs ont jusqu'à présent fait l'objet de très peu d'études qui sont d'ailleurs trop peu avancées pour pouvoir dire quelque chose de plus précis à leur sujet.

3. Huiles pour transformateurs. — Le rôle des huiles pour transformateurs est encore plus complexe que celui des deux groupes précités. Elles ont pour but de refroidir l'appareil et de l'isoler afin d'éviter des claquages.

Alors que les huiles pour câbles et pour disjoncteurs ne subissent aucune action de la chaleur, ou des actions très rares et de très courte durée, les huiles pour transformateurs se trouvent exposées durant tout le fonctionnement de l'appareil à une température plus élevée que la température ambiante; l'élévation de la température varie suivant la construction de l'appareil, la charge, etc., entre 10°C et 50°C environ.

Les huiles pour transformateurs doivent donc avoir une *viscosité* suffisamment faible pour assurer la transmission rapide de la chaleur vers les parois de l'appareil qui se trouvent en contact avec l'air de l'extérieur. La valeur de la viscosité d'une huile est cependant intimement liée à sa constitution chimique. Plus une huile est fluide, plus grande sera sa teneur en composés légers et partant sa facilité de s'évaporer, dont le point d'éclair constitue une mesure quelque peu grossière. Cette considération doit prévaloir dans le choix de la viscosité d'une huile. En choisissant une huile très fluide qui s'évaporera plus rapidement, on sera plus souvent appelé à compenser les pertes par évaporation par l'addition d'huile neuve, c'est-à-dire qu'on consommera une plus grande quantité d'huile pour une durée de service donnée. D'un autre côté l'addition plus fréquente d'huile neuve pourra dans une certaine mesure entraver les progrès de l'altération de l'huile. La question se réduit donc en dernier lieu à un calcul du prix de revient, et l'emploi de telles huiles doit être restreint à des appareils très fréquemment contrôlés et inspectés.

Une deuxième propriété importante de l'huile pour transformateur est son *point de congélation*. On demande que l'huile reste fluide même à la température la plus basse atteinte dans la région dans laquelle l'appareil se trouve placé. Cette caractéristique importera donc peu pour des transformateurs de cabines qui ne sont jamais exposés aux grands froids, mais bien pour les appareils de plein air, utilisés de plus en plus, surtout si ces derniers ne sont pas munis d'un système de chauffage qui les assimilerait aux transformateurs de cabines.

Le choix du point de congélation dépend des conditions climatologiques. Il faut cependant se rappeler, lors de la fixation des caractéristiques générales d'une huile, qu'il y a un rapport très intime entre la valeur du point de congélation et celle du point d'éclair d'une même huile; celui-ci diminue en général au fur et à mesure que celui-là baisse. On ne peut donc exiger par exemple pour une huile un point de congélation de — 40°C et un point d'éclair supérieur à 180°C.

La *rigidité diélectrique* : l'huile pour transformateurs doit non seulement assurer le séchage des bobines avant la mise en service du transformateur, mais aussi isoler constamment l'appareil durant son fonctionnement.

Les électriciens ont attaché et attachent encore une très grande importance à la rigidité électrostatique de l'huile et certains la considèrent à tort comme un indice de la qualité de l'huile.

Les études de plusieurs auteurs ont démontré que la valeur de la rigidité diélectrique d'une huile dépend uniquement de son état de pureté physique : elle diminue en présence d'humidité, surtout si l'huile contient encore des impuretés solides (fibres) qui absorbent l'eau et constituent des fils conducteurs dans la masse isolante (1). L'influence de l'eau semble dépendre de la

(1) J.-E.-T. Cogle; L'influence des impuretés sur la résistance électrique des huiles isolantes. Rapport n° 69 présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 596-620.

forme sons laquelle elle se trouve dans l'huile. Si l'huile chaude contient de l'eau sous forme d'une dissolution vraie, la rigidité mesurée à cette température donnera une valeur assez bonne ; en refroidissant cette huile, l'eau dissoute se précipitera sous forme d'un brouillard constitué de fines gouttelettes d'eau et déterminera à ce moment une forte diminution du pouvoir isolant de l'huile, comme les travaux de M. Kriéger l'ont démontré.

Pour cette raison, la mesure de la rigidité diélectrique doit être effectuée à une température voisine de 20°C.

L'essai de claquage renseigne donc uniquement sur l'état de pureté physique de l'huile et doit être fait seulement avant la mise en service, dans le seul but de contrôler s'il y a lieu de sécher préalablement l'huile.

La rigidité diélectrique est jusqu'à présent mesurée par différents dispositifs munis d'électrodes placées à très courte distance. Les résultats obtenus varient avec la forme des électrodes (1). Les valeurs fournies par l'essai de claquage ont cependant une signification très limitée, puisqu'elles ne concordent nullement avec celles obtenues entre des électrodes placées à des distances industrielles, comme MM. A. Roth et Traverse l'ont signalé lors de la dernière session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (2). Il y aurait donc intérêt à poursuivre les études dans cette direction pour instituer si possible un essai de claquage à distance industrielle donnant des renseignements plus exacts, à moins qu'il ne soit possible de remplacer cet essai par une mesure d'autres propriétés électriques de l'huile (3).

Les travaux de M. Masson (4), sur la résistivité des huiles, et ceux de MM. Bruckmann (5), Riley (6), Ornstein (1) et Smouroff (2) sur la variation du facteur de puissance constituent un début heureux dans ce domaine.

Nous avons déjà signalé, au début de ce chapitre, que la question des huiles pour câbles et pour disjoncteurs est encore trop mal connue pour pouvoir faire l'objet d'un exposé plus détaillé. Nous nous bornons donc à traiter dans cet article le problème des huiles pour transformateurs sur lequel nous possédons des connaissances plus étendues.

III. Les changements survenant dans l'huile pour transformateur au cours de son service (3). — L'huile de transformateur ne conserve pas indéfiniment ses propriétés initiales, mais subit plus ou moins rapidement des modifications, qui peuvent finalement la rendre impropre à son usage primitif. Nous désignons par le terme « altération » l'ensemble des modifications des propriétés de l'huile au cours de son emploi.

Il faut distinguer deux sortes d'altération : l'altération physique et l'altération chimique, la première étant passagère et facile à supprimer, la seconde étant définitive.

1. L'altération physique. — L'altération physique est produite par la présence dans l'huile de produits étrangers solides (impuretés mécaniques, fibres, poussière, charbon, etc.) ou liquides (eau) qui déterminent un abaissement du pouvoir isolant de l'huile, un encrassement des bobines et des canaux de circulation, entravant ainsi la circulation libre de l'huile au préjudice du bon refroidissement de l'appareil.

L'altération physique peut être provoquée par des causes étrangères à la nature de l'huile (nettoyage ou séchage insuffisant de l'appareil) ou constituer une suite d'une altération chimique de l'huile (formation de charbon dans les huiles pour disjoncteurs ou celle de dépôt dans les huiles pour transformateurs). Elle détermine seulement des variations passagères des propriétés essentielles de l'huile de transformateur qui disparaîtront aussitôt qu'on aura supprimé la cause de l'altération physique par une épuration physique. Nous distinguons quatre procédés d'épuration physique : le filtre-presse, l'ultrafiltre (filtre-presse muni de membranes en collodion), le filtre électrocapillaire et la super-centrifugeuse, qui ont trouvé un emploi plus ou moins étendu.

Nous nous abstenons de discuter ici les avantages et les inconvénients des différents procédés d'épura-

(1) F. Cassegrain ; Sur les essais de rigidité électrostatique des huiles de transformateurs. Rapport n° 66, présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 592-598.

(2) *Compte rendu des Travaux*, t. 1, p. 701-710,

(3) H. Weiss et T. Salomon ; Rapport sur les travaux du Comité d'Etudes créé par la session 1927 pour l'étude des huiles isolantes. Rapport n° 3 présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 481-514.

(4) E. Masson ; Méthode et appareil simples pour l'étude de la résistivité des huiles isolantes. Relations entre la résistivité, l'altération et la teneur en eau. Rapport n° 49 présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1. p. 576-592.

(5) Compte rendu de la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 691-698.

(6) T.-N. Riley ; Détermination de la qualité des huiles isolantes par le taux de variation du facteur de puissance lorsque l'huile est chauffée à l'air libre. Rapport n° 45 présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 551-576.

(1) L.-E. Ornstein ; Examen des huiles isolantes. Rapport n° 74 présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 646-669.

(2) A. Smouroff ; Pertes diélectriques dans les huiles pour transformateurs en fonction de l'altération des huiles. Rapport n° 21 présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 514-551.

(3) Voir : H. Weiss, L. Boisselet et T. Salomon ; L'altération des huiles minérales. Rapport n° 25, présenté à la session de Tokio de la World Power Conference (1929).

TABLEAU I. — *Les caractéristiques essentielles des méthodes de vieillissement artificiel, appliquées dans les différents pays.*

PAYS	MÉTHODE	FACTEURS D'ALTÉRATION				MIS EN ACTION		ÉVALUATION DE L'ALTÉRABILITÉ PAR			REMARQUES
		Température d'essai en degrés centésimaux.	Durée en heures.	Aération.	Pression d'oxygène.	Catalyseur employé.	Emploi d'autres agents d'altération.	L'acidité de l'huile altérée.	La quantité de dépôt formée.	La quantité de matières saponifiables formée.	
Allemagne.	Indice de goudronisation.	120	70	Forcée par courant d'oxygène (2 bulles par seconde).	1 atm.	Néant.	Néant.	Dosage pondéral.	Ne doit pas former de dépôt.	Néant.	Méthode officielle.
	Baader.	95	48	Forcée par montée et descente rapide d'un agitateur dans l'huile (72 000 tours en 48 h).	0,2 atm. (air libre)	Soit sans, soit avec cuivre, plomb ou autre matière utilisée dans le transformateur.	Néant.	Néant.	Oui.	Oui.	Proposée comme méthode officielle.
Angleterre.	Sludge test.	150	45	Forcée par courant d'air sec (2 l. par h).	0,2 atm. (air libre)	Feuille de cuivre.	Néant.	Néant.	Oui.	Néant.	Méthode officielle.
Etats-Unis d'Amérique.	Life test.	120	Variable.	Forcée par barbotage d'air dans une étuve tournante.	0,2 atm. (air libre)	Néant.	Néant.	Néant.	Durée de chauffage nécessaire pour produire les premières traces de dépôt dans l'huile.	Néant.	Proposée comme méthode officielle.
	Sligh test.	200	2,5	Vase clos.	1 atm.	Néant.	Néant.	Néant.	Oui.	Néant.	Proposée comme méthode officielle.
Belgique.	Belge.	170	5	Restreinte (emploi d'étuve fermée).	0,2 atm. (air libre)	Néant.	Néant.	Néant.	Oui. Détermine aussi la durée de chauffage nécessaire pour produire les premières traces de dépôts insolubles dans l'huile chaude.	Néant.	Méthode officielle.
France.	U. S. E.	150	125	Restreinte (vase clos).	0,2 atm. (air libre)	Néant.	Néant.	Néant.	Oui.	Néant.	Méthode officielle.
	Ecole du Pétrole Strasbourg (H. Weiss et T. Salomon).	115	Variable.	Naturelle (à l'air libre).	0,2 atm. (air libre)	Fil de cuivre.	Néant.	Oui.	Détermine la durée de la première période et trace la courbe de dépôt en fonction de la période de l'huile.	Néant.	Prévue comme méthode officielle dans le nouveau cahier de charges.
Italie.	Italienne.	110	300	Restreinte (étuve fermée).	0,2 atm. (air libre)	Toile de cuivre.	Néant	Oui.	Dépôt insoluble dans l'huile chaude.	Néant.	Méthode officielle.
	Musatti et Borella.	200	2 à 3	Vase clos.	Constante.	Cuivre.	Néant.	Néant.	Oui.	Néant.	
Russie.	Russe.	120	70	Forcée par courant d'air sec (3 l. par h).	0,2 atm. (air libre)	Cuivre.	Néant.	Néant.	Oui.	Néant.	Méthode officielle.
	Bulkov	120	2	Vase clos.	15 atm.	Néant.	Néant.	Néant.	Oui.	Néant.	Proposée comme méthode officielle.
Suède.	ASEA	100	100	Forcée par courant d'oxygène sec.	1 atm.	Cuivre et fer (rapport 1 à 4).	Champ électrostatique de 10 kv cm	Oui.	Oui.	Néant.	Proposées comme méthode officielle.
	Norlin.	120	70	Forcée par courant d'oxygène sec (2 bulles par seconde).	1 atm.	Cuivre.	Néant.	Dosage pondéral.	Oui.	Néant.	
Suisse.	B. B. C.	115	168 et 336	Naturelle (air libre).	0,2 atm. (air libre)	Pot de cuivre.	Néant.	Oui. Mesure aussi la diminution de la force de rupture du fil de coton.	Mesurée volumétriquement.	Néant.	Méthode officielle.

tion. La question de l'épuration rationnelle des huiles en service fait actuellement l'objet dans nos laboratoires d'une étude dont les résultats seront communiqués à la prochaine session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension.

2. L'altération chimique. — L'huile subit avec le temps au cours de son emploi et sous l'effet de la chaleur, de l'oxygène de l'air et des différents matériaux entrant dans la construction du transformateur et avec lesquels l'huile est en contact, des modifications chimiques plus ou moins profondes aboutissant à la formation de produits d'oxydation (acides) solubles dans l'huile et de produits de réactions secondaires qui, se précipitant peu à peu, constituent ce qu'on appelle communément le dépôt.

Les deux groupes de produits d'altération sont également nuisibles; les acides par l'attaque des isolants et l'effet de corrosion sur les métaux qu'ils peuvent produire si leur concentration dans l'huile devient trop importante, le dépôt par l'effet d'altération physique qu'il produit et que nous avons décrit ci-dessus. On a donc intérêt à choisir une huile qui aura la moindre tendance à manifester ces phénomènes au cours de son service, voire qui conservera intactes, le plus longtemps possible, ses propriétés initiales.

La vitesse de l'altération in vivo d'une huile est faible; elle dépend non seulement de la qualité initiale de l'huile, mais aussi de la nature de l'appareil et des conditions d'emploi. Pour avoir des renseignements plus rapides sur la stabilité de l'huile, on a donc songé à instituer des essais de vieillissement artificiel ne demandant que quelques jours.

IV. Le problème de l'altération artificielle de l'huile. — A. But et signification d'un essai d'altération artificielle. — L'idée primitive a été de reproduire l'altération in vivo par un essai de laboratoire en accélérant la vitesse de réaction. Des méthodes furent conçues, de manière à procurer aux huiles un traitement ressemblant plus ou moins à celui qu'elles subissent dans le transformateur en exagérant l'effet d'un ou de plusieurs des facteurs de l'altération des huiles, soit par l'élévation de la température, soit par l'augmentation de l'aération, soit par l'intensification d'actions catalytiques (métaux, etc.) et même, dans certains cas, sous l'action du champ électrostatique. Les résultats de ces altérations observées sont évalués d'une manière différente comme nous le verrons plus loin.

Le tableau I, qui groupe les principales méthodes d'essai utilisées dans les différents pays ou proposées pour la mesure de l'altérabilité des huiles, montre nettement les différentes voies qu'on a choisies pour réaliser plus ou moins parfaitement le but visé.

Cependant le résultat obtenu, loin de résoudre le problème posé, le compliqua plutôt; les valeurs fournies par les différentes méthodes étaient non seulement souvent en désaccord entre elles, mais ne répondaient pas non plus aux résultats de la pratique, soit que la méthode visée, insuffisamment étudiée, ne fût pas applicable à toute la gamme d'huiles se trouvant sur le marché, soit que son mode opératoire défectueux ne permît pas de reproduire avec une précision suffisante les valeurs une fois obtenues. Cette situation embrouillée amena la Commission électrotechnique internationale à soumettre les principaux essais d'altération à un examen approfondi pour sélectionner la ou les méthodes susceptibles d'être adoptées par la suite avec des modifications éventuelles, comme essai normalisé international.

Nos travaux entrepris depuis 1924 ont montré que l'ambition nourrie dans beaucoup de milieux de pouvoir reproduire par un essai de laboratoire accéléré l'altération in vivo était exagérée et que les essais de vieillissement artificiel les plus proches de la réalité ne copient pas exactement l'altération in vivo. Tout ce qu'on peut demander à un essai de laboratoire c'est de classer les diverses huiles dans le même ordre que la pratique, sans fixer à priori la limite à partir de laquelle une huile cesse d'être acceptable. Cette limite ne pourra être choisie que lorsqu'on aura établi une correspondance entre les essais de laboratoire et ceux de la pratique par des essais in vivo, en supposant qu'il soit possible de fixer une seule valeur limite applicable à tous les cas de la pratique.

Un essai de laboratoire basé sur ce principe doit aussi remplir deux conditions essentielles: donner des résultats constants et identiques pour une même huile lorsqu'il est appliqué par des opérateurs différents et être applicable à toute la gamme des huiles pour transformateurs.

B. La mise au point de l'essai d'altération artificielle. — Pour réaliser un essai de laboratoire répondant à ces conditions il a fallu rechercher d'abord les conditions optima du mode opératoire et éliminer soigneusement toutes les causes d'erreur. Nous avons déjà signalé au début de ce chapitre que tout essai de laboratoire est caractérisé par la mise en jeu de l'action prépondérante d'un ou de plusieurs facteurs d'altération: la chaleur, l'aération, l'action catalytique des métaux. Pour chacun de ces facteurs existent des conditions d'emploi optimum qu'il ne faut pas dépasser si l'on veut réaliser l'effet maximum sans s'écarter trop des conditions de la pratique. Nous allons passer en revue rapidement les divers facteurs et indiquer comment il faut les faire entrer en action (1).

1. La température d'essai. — L'augmentation de la vitesse d'altération n'est nullement proportionnelle à l'élévation de la température. Le but est de réaliser des réactions de nature similaire à celles de la pratique et

(1) H. Weiss et T. Salomon; Contribution à l'étude des facteurs à prendre en considération lors des essais d'altération des huiles pour transformateurs. Rapport n° 10 (France) 33 présenté à la session de Bellagio de la Commission électrotechnique internationale (1927) et analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 3 mars 1928, t. XXIII, p. 389-392.

avec une vitesse observable au laboratoire. Il ne faut pas s'écarter trop de la température maximum réalisée dans le transformateur (90 à 95°C) pour ne pas changer la nature des réactions. De toutes façons il faut avoir une température constante dans le temps, oscillant dans des limites très étroites. La température comprise entre 110° et 115 C a été trouvée la plus favorable. Dans notre essai d'altération, dont nous parlerons plus loin, nous opérons à 115°C (variation ± 1°C).

2. L'INFLUENCE DE LA GRANDEUR DE LA SURFACE LIBRE DE L'HUILE ET CELLE DE L'AÉRATION. — L'altération, tout au moins dans sa première phase de réaction, est une oxydation pure; la vitesse de réaction dépendra donc, toute autre condition égale, de la facilité offerte à l'accès de l'oxygène de l'air qui dépend, d'une part, de la grandeur de la surface libre du volume d'huile et, d'autre part, d'une aération suffisante. Des raisons pratiques limitent la valeur de la première donnée. On obtiendra certes l'effet maximum en opérant avec un volume d'huile en couche très mince et ayant une très grande surface libre; mais dans ces conditions l'observation à l'œil nu de l'état de l'huile altérée et l'évaluation précise des progrès de l'altération seront rendues extrêmement difficiles. Il a donc fallu adopter une solution intermédiaire, en employant des tubes cylindriques dont la partie supérieure est évasée (voir fig. 1) pour constituer une surface libre plus grande tout en permettant l'observation facile dans la partie cylindrique plus étroite de la formation de dépôt dans l'huile, par simple inspection à la lampe.

Il est essentiel d'assurer une bonne aération de la surface libre de l'huile pour réaliser une vitesse de réaction suffisamment grande. Cette condition importe d'ailleurs beaucoup plus que la quantité d'oxygène mise en réaction, comme nous le verrons plus loin. Il faut en particulier éviter la formation de poches d'air stagnantes qui empêchent l'accès libre de l'air et déterminent une diminution rapide de la vitesse d'altération. Le volume du tube à essai doit donc être choisi de manière que le niveau du volume d'huile se trouve très près du bord du tube, comme la figure 1 l'indique pour nos tubes, ce qui assure un balayage permanent de la surface libre de l'huile. L'aération est réalisée le plus régulièrement en opérant à l'air libre.

La non-observation de cette condition capitale explique en partie la durée beaucoup trop longue de certains essais d'altération : nous enregistrons, par exemple, dans notre essai la formation de dépôt pour les huiles les plus stables après 1 à 2 jours et, pour quelques cas très rares, de 3 à 4 jours ; ces mêmes huiles examinées suivant les prescriptions suisses ne donnent pas ou guère de dépôt après un chauffage de deux semaines, parce que les récipients y employés sont beaucoup trop volumineux pour la quantité d'huile essayée. L'emploi d'une étuve fermée dans le cas de l'essai italien constitue une deuxième cause du ralentissement de la vitesse d'altération.

Le renouvellement de l'air à la surface de l'huile a une influence plus grande sur la vitesse d'altération que la quantité d'oxygène mise en jeu. Cette dernière semble d'ailleurs n'avoir aucune influence sur la vitesse d'altération dès qu'on dépasse une certaine limite,

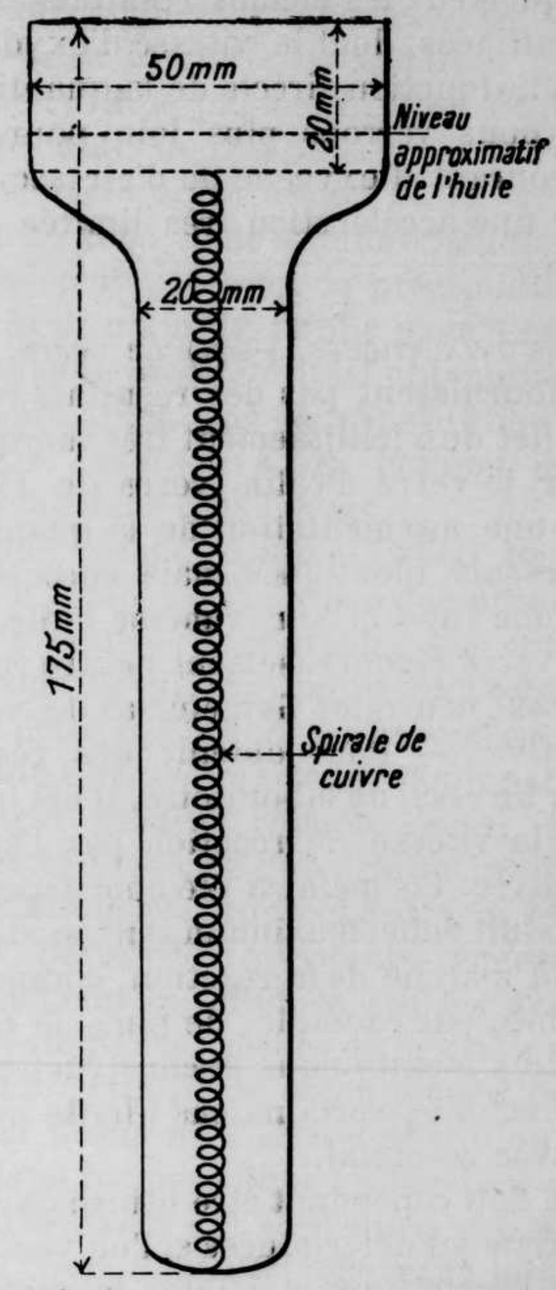


Fig. 1. — Croquis du tube à essai employé dans l'appareil servant aux essais d'altération suivant la méthode de MM. H. Weiss et T. Salomon.

comme nos observations sur la méthode allemande le démontrent (voir tableau II). En effectuant des essais

TABLEAU II. — *Influence de la vitesse du courant d'oxygène sur la vitesse d'altération des huiles.*

HUILE N°	INDICE DE GOUDRONISATION obtenu suivant l'essai allemand, exécuté avec un courant d'oxygène à vitesse	
	prescrite (2 bulles par seconde)	accélérée (6 bulles par seconde)
201	0,357	0,370
202	0,248	0,210
203	0,112	0,132
85	0,385	0,408
86	0,195	0,208
118	0,172	0,112
147 (1)	6,285	17,640
207 (1)	2,738	20,242
208 (1)	8,461	19,237

( ) Huiles surraffinées.

d'altération avec les mêmes huiles dans des conditions identiques, en faisant seulement varier la vitesse du passage du courant d'oxygène de 2 bulles par seconde (vitesse prescrite) à 6 bulles par seconde, nous obtenons pratiquement les mêmes résultats, sauf pour les huiles surraffinées, dont la vitesse d'oxydation semble constituer une fonction directe de la quantité d'oxygène appliquée (nous verrons plus loin pourquoi). L'emploi d'un courant d'oxygène ou d'air sec semble donc déterminer une accélération très limitée de la vitesse d'altération.

3. Actions catalytiques. — a) *Le verre.* — Tous les verres ne fournissent pas des résultats constants par suite de l'effet de vieillissement très marqué, en particulier pour le verre alcalin (verre de Thuringe), qui détermine une augmentation de la quantité de dépôt dans des essais identiques mais successifs effectués dans le même tube et sur la même huile. Il faut employer un verre rigoureusement neutre (marques Silineutre, Sérax, neutrales Geraeteglas de Schott, etc...).

b) *Le cuivre.* — Pour obtenir des résultats assez rapides par un essai de laboratoire, il est indispensable d'accélérer la vitesse de réaction par l'action catalytique du cuivre. Ce métal a été choisi pour deux raisons : il produit l'effet maximum sans modifier de façon apparente la marche de la réaction, comme c'est le cas pour le plomb, par exemple ; de plus, le cuivre trouve un emploi très étendu dans la construction des transformateurs et dans certains cas l'huile est en contact immédiat avec ce métal.

Le cuivre doit cependant être utilisé dans des conditions parfaitement déterminées si l'on veut réaliser une action constante et reproduisible : la surface du métal doit être parfaitement écrouie sans avoir été modifiée par des traitements chimiques. L'étude très approfondie que nous venons de terminer sur l'action du cuivre, et dont les résultats feront l'objet d'une communication à la prochaine session de la Commission électrotechnique internationale à Stockholm, nous a démontré qu'on réalise une action constante en employant du fil de cuivre électrolytique pur du commerce, qu'on écrouit complètement au préalable par un traitement à la toile d'émeri à grain très fin (o et oo). On réalise ainsi une surface parfaitement uniforme et on obtient des résultats constants. Ceci a été vérifié sur différents lots de fils de cuivre non seulement chez nous, mais aussi dans d'autres laboratoires. Tout autre traitement mécanique (par sable, polissage très poussé) ou chimique (décapage par des acides, réduction par l'alcool méthylique à chaud) est nuisible et doit être proscrit.

Nous avons, d'autre part, pu démontrer que l'action du cuivre dépend surtout de l'état de la surface et qu'elle est dans des limites très larges indépendante de la grandeur de la surface.

Le cuivre impur (contenant de faibles quantités de plomb et d'arsenic) donne, lorsqu'on l'emploie sous forme de fils écrouis par un passage à la toile d'émeri, des résultats quelque peu différents de ceux obtenus avec le fil pur du commerce. La différence observée dans les quelques cas examinés n'est pas très forte et nous ne pouvons pas encore dire si elle se produit avec toute autre huile. Il reste cependant bien acquis que le fil de cuivre électrolytique, tel qu'on le trouve dans le commerce, donne des résultats parfaitement constants lorsqu'on le prépare dans les conditions susmentionnées.

On a objecté à l'emploi du cuivre dans l'essai d'altération qu'il détermine des conditions d'altération très différentes de celles de la pratique en classant différemment deux huiles considérées comme identiques d'après les résultats d'un essai de laboratoire sans cuivre. Nous avons soumis à examen cette objection et trouvé qu'elle n'est pas valable. Dans tous les cas examinés nous avons constaté que le même essai d'altération exécuté en présence et en absence de cuivre classe les huiles dans le même ordre. Le tableau III réunit quelques résultats obtenus avec des huiles de qualité très différente dont nous indiquons la durée de la période (temps nécessaire pour produire les premières traces de dépôt dans l'huile chaude) et la quantité de dépôt formée à ce moment-là.

Tableau III. — *Comparaison des périodes d'altération de différentes huiles, altérées en présence et en absence de cuivre suivant la méthode H. Weiss et T. Salomon.*

Huile N°	Essai d'altération — Avec cuivre — Première période. Durée en heures	Avec cuivre — Première période. Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile	Sans cuivre — Première période. Durée en heures	Sans cuivre — Première période. Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile
124	117	0,010	784	0,0106
123	64,5	0,0075	696	0,0066
142	56	0,0158	288	0,016
8	40,5	0,0080	189,5	0,008
31	16,5	0,013	95,5	0,008
33	14	0,0097	88	0,010
126	8	0,010	40,5	0,0175
388	8	0,005	40	0,0025
148	8	0,009	16	0,0073

Un cas encore plus caractéristique figure dans le tableau IV (graphique 1). Il s'agit de deux huiles préparées à partir du même distillat par un raffinage très différent qui, examinées suivant les prescriptions belges, avaient donné un résultat identique lorsqu'on opérait en absence de cuivre et des valeurs très différentes lorsqu'on les altérait en présence de cuivre. L'examen suivant notre méthode a donné une différenciation très nette des courbes de dépôt des deux huiles, obtenues par l'altération artificielle en présence et en absence de cuivre et a permis d'établir les causes du résultat erroné fourni par l'essai belge.

Les courbes de dépôt obtenues avec les huiles préci-

TABLEAU IV (graphique 1). — *Comparaison de la vitesse d'altération de deux huiles neuves, examinées suivant la méthode H. Weiss et T. Salomon en présence et en absence de cuivre.*

HUILE	ALTÉRÉE AVEC CUIVRE			ALTÉRÉE SANS CUIVRE		
	Durée h mn	Acidité organique (1)	Dépôt (2)	Durée en heures	Acidité organique (1)	Dépôt (2)
358	6 45	0,070	0,0065	24	0,030	0,0010
	16 35	0,160	0,017	40	0,10	0,0015
	24	0,15	0,032	90	0,11	0,0050
	30	0,15	0,043	120	0,135	0,008
357	64	0,080	0,0021	300	0,08	0,005
	120	0,290	0,0385	360	0,10	0,006
	183	0,33	0,070	720	0,13	0,0115
	240 30	0,35	0,1125			

(1) En pour 100 d'acide oléique.
(2) En grammes pour 100 cm³ d'huile.

tées montrent que leur allure est exactement la même avec ou sans cuivre, à cela près que la durée des périodes est beaucoup plus réduite en présence de cuivre.

c) *L'action du champ électrostatique.* — Certains

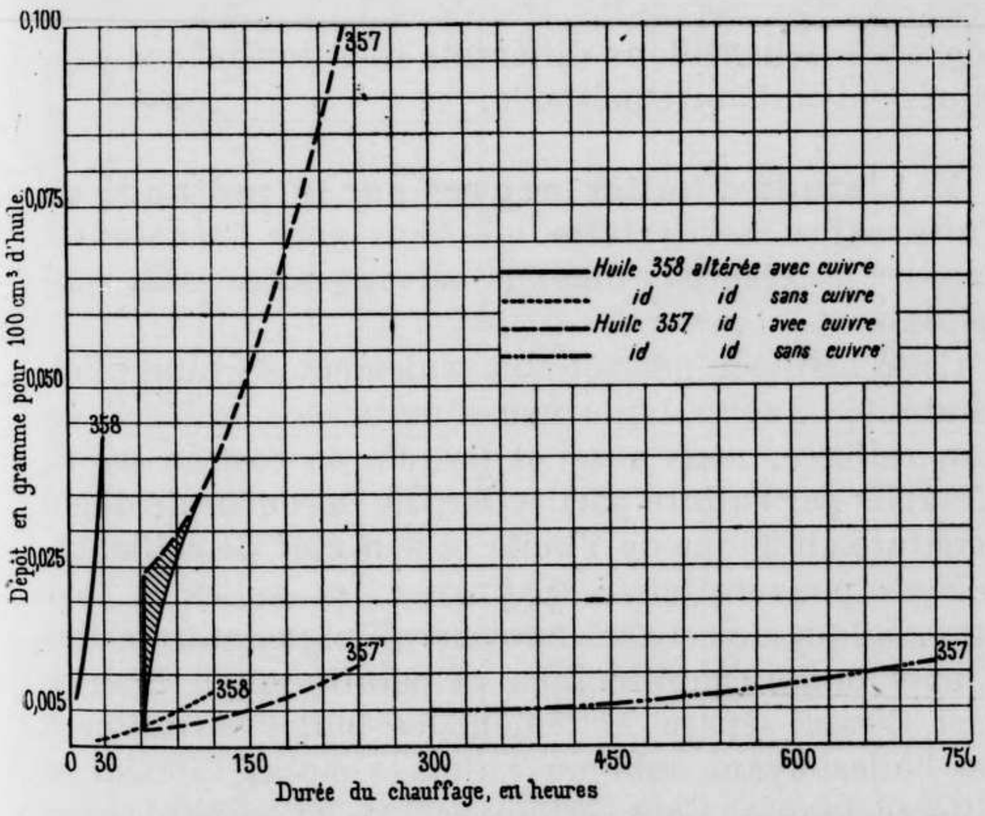


Fig. 2. — Graphique n° 1 : Comparaison des courbes d'altération de deux huiles obtenues en présence et en absence de cuivre. (Dans ce graphique et les suivants les limites d'erreurs expérimentales sont de ±0,005 à ±0,008 g pour 100 cm³ d'huile).

auteurs prétendent avoir constaté une assez forte augmentation de la quantité de dépôt au cours de l'essai d'altération en opérant sous l'action du champ électrostatique, d'autres affirment que cette action est presque nulle. En attendant que cette question soit mieux connue, il nous semble qu'il serait prématuré de vouloir faire intervenir ce facteur dans un essai de laboratoire, à cause de la forte complication qui en résulterait pour l'appareillage sans garantir un avantage très certain.

4. EXAMEN DES PRODUITS DE RÉACTION. — Les produits d'altération tant artificielle qu'in vivo se divisent en deux groupes; les produits d'oxydation pure — les acides - qu'on évalue par la titration de l'acidité de l'huile et les produits de réactions secondaires, plus ou moins facilement solubles dans l'huile, qui se précipitent en partie déjà dans l'huile chaude, en partie dans l'huile refroidie, et dont la précipitation devient complète après dilution de l'huile avec l'essence normale. On désigne le précipité ainsi obtenu par le terme général de dépôt, bien que la constitution chimique de ces produits, encore très peu connue, ne soit pas toujours la même dans tous les cas.

Dans certains essais, comme l'essai Baader (voir tableau I), on a remplacé le dosage des produits acides par celui des produits saponifiables qui comprennent encore des produits intermédiaires de l'oxydation ; la technique de cette opération est cependant très délicate et demande de nombreuses précautions.

Dans d'autres essais, comme l'essai suisse, on mesure encore la présence de certains produits particuliers d'oxydation se rapprochant par leur nature chimique des peroxydes, oxydants énergiques qui attaquent facilement la cellulose. On les évalue d'une manière indirecte par la mesure de la diminution de la force de rupture d'un fil de coton plongé dans l'huile durant toute la durée de l'essai d'altération. Ces produits oxydants se forment dans l'altération *artificielle* des huiles surraffinées qui sont ainsi rejetées comme très nuisibles. Nous démontrerons plus loin que cette considération est inexacte du point de vue de la pratique. L'essai au coton nous semble constituer une complication bien inutile d'une méthode de laboratoire et les résultats qu'il donne sont loin d'être constants, même en opérant avec beaucoup de précautions.

5. L'EXPRESSION DES RÉSULTATS DE L'ESSAI D'ALTÉRATION. — Les différents essais expriment les résultats d'une manière bien différente (voir tableau I). Dans certains cas (sludge-test, etc.), on base l'appréciation de la qualité d'une huile exclusivement sur la quantité de dépôt formé, dans d'autres, uniquement sur l'augmentation de l'acidité de l'huile. Un troisième groupe d'essais enfin prend comme critérium à la fois l'augmentation de l'acidité et la quantité de dépôt formé et dans certains cas aussi, l'essai au coton.

De nombreuses autres variations sont dues à une différence dans le mode opératoire appliqué : les uns dosent l'acidité dans l'huile altérée telle quelle, les autres, après l'avoir préalablement débarrassée de son dépôt. Dans certaines méthodes on évalue la quantité de dépôt précipité dans l'huile froide, dans d'autres seulement celle insoluble dans l'huile chaude et, dans un troisième cas enfin, seulement après dilution de l'huile avec l'essence normale. Les dosages du dépôt

sont faits dans les différentes méthodes soit pondéralement, soit volumétriquement.

Toutes les méthodes, à l'exception de deux (le life-test et la nôtre), évaluent les résultats de l'altération après une durée de chauffage fixe, identiquement la même pour toutes les huiles. Dans le life-test on chauffe l'huile sans cuivre jusqu'à ce qu'on observe l'apparition des premières traces de dépôt dans l'huile chaude et l'on classe les huiles suivant la durée du chauffage.

Nous nous sommes inspirés du principe du life-test dans le choix du mode d'expression pour notre essai d'altération (1) : nous observons ainsi la durée de chauffage nécessaire pour faire apparaître dans l'huile chaude les premières traces de dépôt et dosons à ce moment là la quantité de dépôt formé après dilution de l'huile refroidie avec l'essence normale (proportion 1 : 3) et un repos de 16 à 24 heures. L'acidité de l'huile est déterminée en même temps sur un petit échantillon prélevé à la surface du tube avant la dilution de l'huile avec l'essence et filtré. On effectue ensuite des essais de durée double, triple, quadruple et même quintuple et on détermine chaque fois la quantité de dépôt formé exprimée en grammes pour 100 cm³ d'huile, et l'acidité exprimée en pour 100 d'acide oléique. On porte les valeurs de dépôt trouvées sur un graphique en prenant en abscisses la durée du chauffage (en heures) et en ordonnées le poids en grammes du dépôt trouvé pour 100 cm³ d'huile ; on obtient ainsi une courbe régulière à allure parabolique. Si l'on connaît la durée de la période de l'huile (durée de chauffage nécessaire pour produire les premières traces de dépôt insoluble dans l'huile chaude) et la valeur du premier dépôt formé à ce moment-là, on peut tracer à l'aide de ces données la courbe de dépôt de l'huile, puisque la quantité de dépôt formé *pendant l'intervalle d'une période* augmente suivant une progression arithmétique à raison de 0,7 fois la valeur du premier dépôt. Si nous désignons la valeur du premier dépôt par 1, nous obtiendrons à la fin des deuxième, troisième, quatrième et cinquième périodes de chauffage une quantité de dépôt correspondant respectivement à 1,7, à 3,1, à 5,2 et à 8 fois la valeur initiale. Les résultats expérimentaux ne diffèrent pas des valeurs ainsi calculées au delà de la limite d'erreur expérimentale (± 0,005 à ± 0,008 g pour 100 cm³ d'huile).

Cette loi qui régit la vitesse de formation du dépôt reste cependant seulement applicable pour les premières six périodes de l'huile. Si l'on prolonge le chauffage au delà de cette limite on constate dans la plupart des cas un ralentissement très marqué de la vitesse de formation de dépôt qui tombera finalement à zéro. Nous verrons plus loin que cette modification de l'allure de la courbe est similaire à celle observée dans le cas d'huiles très altérées au cours de leur service.

Nous reproduisons dans le tableau V quelques résultats types obtenus avec des huiles de nature très différente et en donnons les courbes respectives dans le graphique 2. Ces résultats ont été extraits parmi les

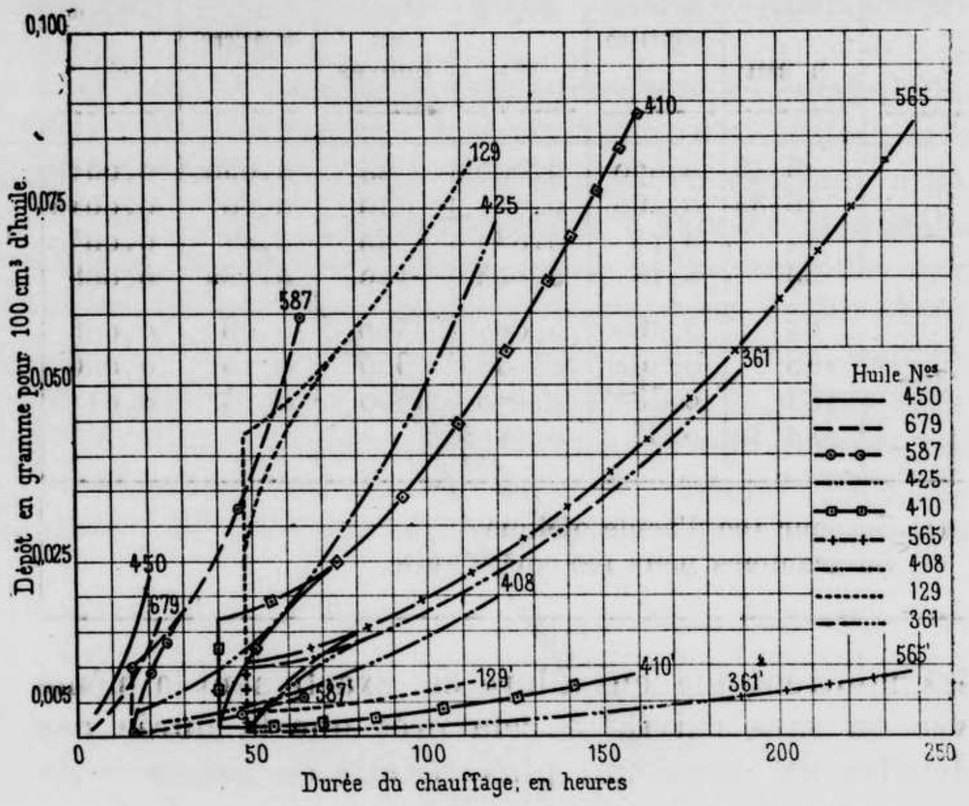


Fig. 3. — Graphique n° 2 : Courbes d'altération d'huiles neuves de qualités très différentes.

500 à 600 échantillons différents que nous avons examinés suivant notre méthode.

V. **L'étude d'huiles neuves par la méthode de l'altération artificielle.** — Nous nous bornerons à exposer les résultats obtenus suivant notre essai d'altération.

Cette méthode permet non seulement d'évaluer l'altérabilité de toute huile neuve ou usagée, raffinée ou non raffinée, mais aussi et jusqu'à un certain point, d'établir par l'allure particulière de la courbe de dépôt la nature chimique de l'huile et son état de raffinage.

Nous pouvons ainsi distinguer les huiles à base naphténique de celles à base paraffinique et de celles à base mixte (naphténique et paraffinique). D'autre part, l'essai sépare nettement les huiles surraffinées des huiles ayant subi un raffinage moins intensif et différencie aussi, dans certains cas, les huiles faiblement raffinées de celles normalement raffinées.

1. Les huiles surraffinées. — Cette catégorie d'huiles est très diversement appréciée dans les différents pays. Ces huiles, obtenues par un raffinage très poussé ayant éliminé tous les composés autres que les saturés, s'altèrent d'une manière totalement différente de celle observée pour les autres huiles. Elles produisent à la place du dépôt pulvérulent, brun à brun noir, essentiellement des composés d'oxydation pure, acides, qui sont plus ou moins complètement solubles dans l'huile chaude ou froide et se précipitent très lentement et incomplètement sous forme d'un composé huileux, très

(1) H. Weiss et T. Salomon ; Nouvelle méthode pour l'évaluation de l'altérabilité des huiles pour transformateurs. Septième communication à la Commission des Huiles isolantes de l'Union des Syndicats de l'Electricité (décembre 1928). *Annales de l'Office national des Combustibles liquid s*, année 1929, p. 419-436 et *Bulletin de la Maillerayе*, octobre-décembre 1929, n° 22, p. 13-22.

TABLEAU V (graphique 2). — *Quelques résultats d'essais d'altération obtenus avec des huiles neuves de qualités très différentes suivant la méthode H. Weiss et T. Salomon.*

HUILE N°	POINT DE décongélation (1)	I Dépôt (2)	I Acidité (3)	II Dépôt (2)	II Acidité (3)	III Dépôt (2)	III Acidité (3)	IV Dépôt (2)	IV Acidité (3)	V Dépôt (2)	V Acidité (3)	REMARQUES
		Durée 5 h		10 h		16 h		21 h				
450	—17,5°C	0,0075 0,0040	0,145	0,0105 0,0070	0,14	0,0155 0,0140	0,190	0,0195 0,0230	0,21			Huile à base naphténique.
		Durée 4 h		16 h		24 h						
679	— 5,5°C	0,0030 0,0015	0,050	0,010 0,0080	0,110	0,0208 0,0173	0,140					Huile à base paraffinique.
		Durée 24 h		40 h		64 h		88 h		120 h		
408	—25°C	0,0020 0,0025	0,050	0,0050 0,00375	0,16	0,0050 0,00675	0,16	0,0160 0,0115	0,17	0,018 0,020	0,23	Huile à base naphténique.
		Durée 16 h		40 h		88 h		120 h				
425	— 2,5°C	0,0050 0,0040	0,18	0,0060 0,0096	0,165	0,0355 0,0390	0,31	0,067 0,077 0,073	0,31			Huile à base paraffinique.
		Durée 48 h		96 h		144 h		160 h		190 h 20		
361	—29°C	0,0010 0,0010	0,125	0,018 0,0170	0,21	0,0205 0,0310	0,28	0,0385 0,0380	0,22	0,060 0,052	0,29	Huile à base naphténique normalement raffinée.
		Durée 40 h		120 h		160 h		192 h		208 h		
410	— 26°C	0,0030 0,0017	0,115	0,046 0,053	0,245	0,0805 0,0885	0,30	0,125 0,127	0,43	0,151 0,148	0,52	Huile à base naphténique faiblement raffinée.
		Durée 15 h		46 h		64 h		88 h				
587	— 4°C	0,0020 0,0010	0,070	0,0325 0,0325	0,165	0,055 0,0495	0,165	0,1185 0,1105	0,22			Huiles à base naphténique et paraffinique (mélange).
		Durée 48 h		96 h		144 h		192 h		240 h		
565	— 6°C	0,0020 0,0011	0,071	0,022 0,019	0,15	0,0335 0,0340	0,200	0,049 0,057	0,19	0,088 0,088	0,25	Huile à base naphténique et paraffinique (mélange).
		Durée 48 h		113 h 45		167 h 30						
129	—25°C	0,0055 0,0043	0,55	0,0765 0,0820	2,25	0,172 0,177	2,75					Huile à base naphténique surraffinée.

(1) Déterminé suivant la méthode de l'Ecole nationale supérieure du Pétrole et des Combustibles liquides (en tube capillaire).
(2) En grammes pour 100 cm³ d'huile : le premier chiffre représente la valeur trouvée, le deuxième, la valeur calculée.
(3) Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.

collant, adhérant fortement aux parois du verre. La même différence capitale est observée dans l'apparition du premier dépôt : à la place de flocons ou d'un tourbillon plus ou moins dense de particules solides dansant dans le liquide, le premier dépôt apparaît dans les huiles surraffinées sous forme d'un louche colloïdal qui s'accentue à froid. La majeure partie des produits de réaction ne se précipitent qu'après dilution de l'huile avec l'essence normale et la précipitation n'est complète qu'au bout de quelques heures. Si l'on compare les quantités de dépôt formées après une et plusieurs périodes, on constate que celles obtenues pour un nombre de périodes supérieur à 1 sont beaucoup plus importantes par rapport au premier dépôt trouvé et qu'elles constituent un multiple de 10 des valeurs calculées à partir de ce dernier. Les valeurs expérimentales obtenues pour différentes périodes de chauffage se trouvent donc placées sur deux courbes paraboliques à allure identique, mais distantes l'une de l'autre dans le rapport 1 à 10; la courbe inférieure passe par la valeur du premier dépôt et la courbe supérieure par celles trouvées pour les périodes plus longues. La vitesse de formation de dépôt dans la deuxième période est irrégulière dans beaucoup de cas, ce qui fait que les valeurs expérimentales trouvées pour cet intervalle de temps se placent entre les deux courbes. A partir de la troisième période la vitesse de la formation de dépôt suit exactement la loi susmentionnée. On peut attribuer à ces deux courbes la signification suivante : la courbe inférieure correspond à la courbe du dépôt insoluble dans l'huile chaude; la courbe supérieure, à celle du dépôt total (dépôt insoluble dans l'huile chaude + dépôt soluble). Cependant l'appréciation d'une huile doit être basée sur la situation de la courbe inférieure, dite de classement, pour des raisons que nous exposerons plus loin lors de l'étude du déplacement de la courbe d'altération en fonction de la durée du service. Nous parlerons d'une courbe double dans le cas des huiles présentant la particularité signalée ci-dessus dans l'évolution de leur vitesse d'altération, pour les distinguer des autres huiles donnant une courbe simple dont la vitesse d'altération augmente régulièrement au cours de l'essai d'altération.

Nous ajoutons que les huiles surraffinées ont une période longue (égale ou supérieure à 30-36 heures). Elles sont enfin caractérisées par une augmentation très forte de l'acidité au cours de l'altération qui constitue essentiellement une réaction d'oxydation. Cette constatation qu'on a aussi faite dans d'autres essais de laboratoire a fait naître la crainte que les huiles surraffinées puissent former au cours de leur service une quantité abondante de produits acides, susceptibles d'attaquer les isolements et même les métaux. Pour cette raison ces huiles sont proscrites dans certains pays de l'Europe centrale. Nous avons là un cas typique de l'erreur qu'on peut faire en jugeant la valeur d'une huile uniquement d'après les résultats d'un essai de laboratoire. Nous en reparlerons dans le chapitre suivant.

2. Les huiles ayant subi un raffinage moins poussé. — Ce qui distingue surtout les huiles moins fortement raffinées des huiles surraffinées, c'est la formation d'un dépôt pulvérulent et la production beaucoup plus réduite de produits acides au cours de l'essai de vieillissement artificiel. Parmi ces huiles nous pouvons distinguer deux grands groupes par la différence dans l'allure de leur courbe de dépôt : les huiles à base naphténique (caractérisées d'autre part par leur point de congélation très bas) et celles à base paraffinique (à point de congélation très élevé). Les premières donnent aussi une courbe double ayant la même signification que dans le cas des huiles surraffinées, malgré la différence fondamentale qui existe dans la nature du dépôt formé.

L'aspect de ce dernier ressemble à celui des huiles à base paraffinique. Les huiles à base naphténique produisent peu de dépôt insoluble à chaud, mais deviennent très troubles à froid par suite de la précipitation partielle du dépôt soluble. L'appréciation d'une telle huile doit aussi être basée sur la situation de la courbe inférieure, correspondant à la courbe de dépôt insoluble dans l'huile chaude.

Les huiles à base paraffinique non surraffinées ne donnent qu'une courbe simple ; ceci ne veut pas dire que tout le dépôt formé soit insoluble dans l'huile chaude, mais la proportion entre les quantités de dépôt soluble et insoluble à chaud est beaucoup plus réduite et ne montre pas des écarts aussi grands que dans le cas des huiles à base naphténique. Les valeurs obtenues après un nombre multiple de périodes correspondent parfaitement à celle trouvée pour le premier dépôt.

Si nous nous trouvons en cas d'un mélange d'huiles de base naphténique et paraffinique, nous obtenons la courbe caractéristique des huiles naphténiques, alors que le point de congélation est beaucoup plus élevé.

Si l'on compare maintenant les courbes d'altération de diverses huiles préparées à partir du même distillat par un raffinage de plus en plus poussé, on constate dans le cas des huiles à base paraffinique une augmentation progressive de la durée de la première période avec une diminution réciproque de la valeur du premier dépôt. Dans le cas des huiles à base naphténique ou d'un mélange des deux bases, un raffinage relativement faible détermine déjà une augmentation très rapide de la durée de la première période avec une valeur dupremier dépôt plus élevée que d'habitude et en intensifiant le raffinage cette dernière continue à diminuer sans que la durée de la première période subisse des variations importantes.

Ceci résulte tout au moins des observations que nous avons déjà pu faire dans ce domaine et que nous vérifions actuellement sur un plus grand nombre de cas très différents.

Pour prévenir une interprétation inexacte des faits que nous venons d'exposer, nous disons que s'il peut être intéressant de connaître la nature chimique d'une huile et son état de raffinage dans le but de faciliter la

vérification de l'identité d'une fourniture, par exemple, il ne faut pas en faire la base d'une appréciation de la valeur réelle d'une huile, qui dépend sous ce rapport-là uniquement de sa stabilité chimique ; peu importe comment elle fut réalisée, par un traitement doux ou plus énergique suivant la qualité du distillat, pourvu que le produit fini soit et reste suffisamment stable.

(A suivre.)

H. Weiss et T. Salomon,
de l'École nationale supérieure du Pétrole
et des Combustibles liquides de Strasbourg.

Revues, analyses et informations

Utilisation des isolateurs de traversée pour les mesures industrielles (1).

1. Introduction. — La réalisation de mesures industrielles utilisant des dispositifs à isolateurs de traversée n'est possible que dans le cas de tensions élevées pour lesquelles seules le courant de capacité devient appréciable, mais ces mesures ne peuvent présenter un caractère de grande précision. Par contre, la suppression du transformateur de tension correspond à une grande simplification des appareils basés sur ce principe, appareils que l'auteur passe successivement en revue dans le présent article.

2. Indicateurs de terre et de synchronisme a lampe au néon, téléphone, etc. — Dans le premier cas, une lampe au néon est intercalée entre un anneau métallique porté par l'isolateur de traversée et un éclateur à sphères réuni à la terre. Dans le deuxième (indicateur de synchronisme), la lampe au néon est intercalée en série avec l'éclateur à sphères, entre deux anneaux métalliques portés respectivement par les isolateurs de traversée placés sur les deux circuits dont on vérifie le synchronisme des tensions.

L'inconvénient du système réside dans l'obligation d'isoler très sérieusement les connexions à la lampe au néon et à limiter à quelques dizaines de mètres la longueur du circuit. Il faut noter, d'autre part, que la lampe au néon ne peut pas, pour raison de sécurité pour le personnel, être placée directement sur le tableau de l'usine.

Par ailleurs, une telle installation est très simple et fonctionne bien. Il est possible de remplacer la lampe par d'autres appareils indicateurs, voltmètre électrostatique, milliampèremètre ou téléphone. En particulier, ce dernier se branche, par l'intermédiaire d'un condensateur, entre la terre et un point du circuit de l'éclateur à sphères, lequel est directement relié aux deux isolateurs de traversée. Cette solution est plus simple encore que celle consistant à recourir à la lampe au néon et offre toute sécurité pour le personnel. De plus, alors que la lampe ne peut être utilisée lorsque la tension des lignes est inférieure à 20 kv, le téléphone et le voltmètre électrostatique peuvent être adoptés pour 10 kv.

3. Indicateurs de terre et de synchronisme a miroirs oscillants. — Le schéma de la figure 1 permet de se rendre compte du fonctionnement de ces appareils construits par la firme Koch und Sterzel, de Dresde. La lampe L donne un faisceau de lumière très étroit, qui, après avoir traversé l'optique O et s'être réfléchi sur les miroirs H et V vient tomber, en dernier lieu, sur un verre dépoli M sur lequel se fait l'observation. Les miroirs H et V, très légers, en aluminium, sont portés par des axes dont l'un est vertical (V) et l'autre horizontal (H) ; ils sont, d'autre part, placés au centre de deux paires de plaques formant déflecteurs électrostatiques et disposées en croix, l'une des paires étant reliée au réseau d'alimentation de la lampe par un transformateur élévateur N combiné avec un redresseur qui fournit du courant redressé sous 300 v, l'autre étant reliée aux isolateurs des deux réseaux considérés.

Si l'on interrompt en a l'alimentation provenant de l'isolateur placé sur le réseau 2, par exemple, et si le réseau 1 est isolé, on voit sur le miroir dépoli la tache lumineuse

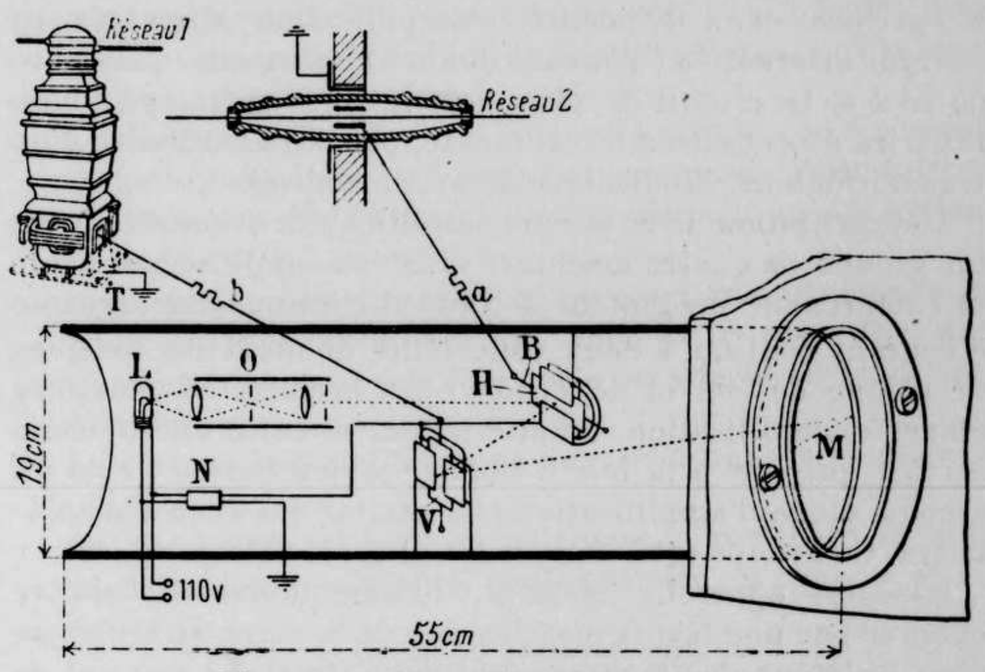


Fig 1. — Disposition schématique du synchronoscope électrostatique Koch und Sterzel.

vibrer horizontalement, car le miroir V oscille avec la fréquence du réseau 1, tandis que le miroir H est immobile. Si une terre est produite sur le réseau 1 le miroir V reste également immobile et on observe sur le disque en verre dépoli une tache ronde centrale au lieu d'une tache allongée dans le sens horizontal.

En coupant en b la connexion vers l'isolateur du circuit 1, on se rend compte d'une façon analogue si le réseau 2 est à la terre (tache immobile) ou s'il est isolé (tache allongée verticalement cette fois).

Si les circuits ne sont interrompus ni en a ni en b, chacun des miroirs se met à osciller et on observe, sur le miroir M, la composition des deux vibrations (figures de Lissajous). En particulier, si les tensions sont en parfait synchronisme (même fréquence et concordance exacte de phase), on a un segment lumineux incliné à 45° ; si les tensions sont égales, mais déphasées de 180°, la tache lumineuse est encore inclinée à 45°, mais dans un sens perpendiculaire au précédent ; enfin, si les tensions diffèrent en fréquence et en phase, la tache lumineuse est plus complexe et on peut, en suivant ses variations de forme, agir sur les machines pour les amener au synchronisme.

Une telle installation est avantageuse en raison de sa simplicité, de l'exactitude de ses indications (une différence de phase de 1° à 2° donnant déjà une forme ellipsoïdale sensible) et enfin de la dépense d'énergie pratiquement négligeable.

(1) Giovani Silva. *L'Elettrotecnica*, 5 février 1930, t. xvii, p. 77-85, 2500 mots, 36 figures.

4. Indicateurs de terre, de tension et de synchronisme a valve thermoélectrique. — Dans ces appareils, le courant de capacité dérivé de l'isolateur de sortie est convenablement amplifié et redressé afin qu'il puisse alimenter des appareils de mesure de tableau (voltmètres, synchronoscopes, etc.).

L'auteur décrit deux types d'appareils de ce genre, ceux de la General electric Company et ceux de la firme Magrini.

Les appareils de la General electric Company comportent une prise spéciale portée par l'isolateur de sortie qui alimente, sous une tension de 35 v environ, un premier amplificateur placé à une faible distance du transformateur à haute tension portant l'isolateur de traversée en question. Il comporte essentiellement une lampe à vide, une résistance de grille de 600000 ohms et un petit transformateur.

Le courant ainsi amplifié est amené à un panneau d'un tableau normal sur lequel sont montés, à l'avant, un voltmètre pour la mesure de la tension de plaque, un volant de rhéostat du générateur d'alimentation et un interrupteur; à l'arrière, deux dispositifs d'amplification alimentés en courant alternatif et pouvant donner chacun une puissance de 10 v-a. Le circuit de plaque de la dernière lampe amplificatrice de cet ensemble alimente, par l'intermédiaire d'un transformateur, l'indicateur de synchronisme.

L'alimentation de ce second amplificateur est assurée pour un groupe de quatre machines montées sur le même arbre et comprenant un moteur à courant continu, une dynamo à courant continu à deux collecteurs donnant les tensions de plaque de 500 et de 1000 v des premier et deuxième étages d'amplification, un alternateur et enfin une dynamo à 125 v qui sert à la fois à donner la tension de grille du second étage d'amplification et à exciter les autres génératrices. Ce groupe est à démarrage et arrêt automatiques.

Dans les appareils Magrini, l'alimentation est encore obtenue par une légère modification de la dernière armature d'un isolateur de traversée de type normal. Le courant de capacité obtenu traverse, dans l'indicateur de terre, l'enroulement primaire d'un transformateur dont l'enroulement secondaire alimente le filament d'une valve à deux plaques. Dans le circuit des plaques est inséré un milliampèremètre à courant continu. Tant que le circuit est isolé normalement, le filament est traversé par un courant de faible intensité et l'aiguille du milliampèremètre demeure presque au zéro. Une forte diminution de l'isolement produit l'effet contraire, ce que le milliampèremètre indique par le déplacement de son aiguille sur une graduation appropriée.

Le même dispositif peut être utilisé comme indicateur de tension. Il suffit que l'enroulement primaire du transformateur, au lieu d'être branché entre l'isolateur de couplage et la terre, soit connecté à deux isolateurs de couplage correspondant à deux fils de ligne différents.

L'indicateur de synchronisme est sensiblement différent. Il comporte deux lampes à trois électrodes dont le filament est alimenté par la même source à courant continu. Les circuits de grille sont respectivement branchés sur les deux circuits à synchroniser par l'intermédiaire d'isolateurs de traversée. Enfin, les courants de plaque des deux lampes parcourent en sens inverse la moitié de l'enroulement d'nn instrument de mesure électromagnétique. Celui-ci n'indique la position zéro que quand les courants sont exactement égaux et en phase.

5. Indicateurs de terre, de tension et de synchronisme a transformateur. — Le très faible courant de capacité obtenu par l'utilisation d'une borne de sortie peut aussi être utilisé pour l'alimentation d'appareils de tableau en faisant usage d'un transformateur de caractéristiques appropriées.

Le premier dispositif décrit est le modèle Siemens. L'isolateur de traversée sur lequel il est branché est du type « condensateur » ; il peut être assimilé, comme on le sait, à un groupe de condensateurs placés en série entre le conducteur à haute tension et la terre. L'enroulement primaire du transformateur qui comporte ce dispositif est branché aux bornes du premier élément de cette série, du côté de la terre et l'enroulement secondaire, complètement isolé, alimente un ampèremètre. Un tel montage constitue un indicateur de terre. Il est facile de voir qu'avec un groupement convenable de plusieurs transformateurs de ce genre on peut aisément réaliser toutes les mesures de tension entre phases, entre fil et terre et les mesures de synchronisme.

L'auteur décrit en dernier lieu le dispositif Scarpa et Magnano, qui comporte un transformateur du type toroïdal disposé directement sur l'isolateur et comprend seulement deux bobinages fonctionnant cependant comme un transformateur à trois enroulements ; l'enroulement est ici réalisé par le conducteur à haute tension qui traverse l'isolateur. Les deux autres enroulements servent, l'un à l'alimentation des circuits de mesure, l'autre, à fournir un courant de capacité entre l'isolateur et la terre. En combinant deux de ces transformateurs placés sur les isolateurs de sortie correspondant aux deux contacts d'un même interrupteur unipolaire à haute tension, on peut, à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre, obtenir à la fois, par la simple manœuvre de boutons appropriés, l'indication du synchronisme, la mesure de la tension sur l'un et sur l'autre fil par rapport à la terre et enfin la tension et le courant lorsque l'interrupteur à haute tension a été fermé.

On voit, en effet, sur le schéma de la figure 2, que, quand l'interrupteur à haute tension I est ouvert : 1° si tous les

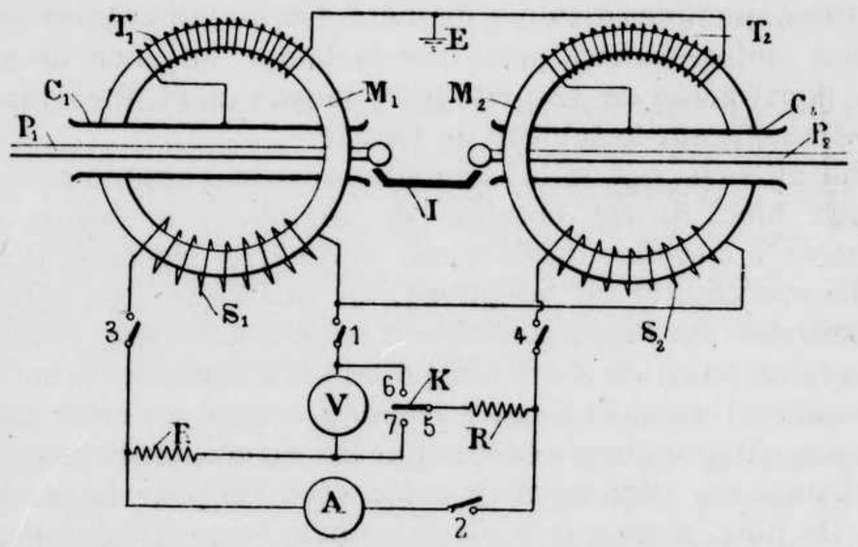


Fig. 2. — Schéma de montage des transformateurs Scarpa et Magnano sur les isolateurs d'un même interrupteur à haute tension pour effectuer des mesures de courant, de tension et de concordance de phase.

interrupteurs sont fermés, sauf 4, le commutateur K étant sur 7, le voltmètre V indique la tension de P_1 par rapport à la terre; 2° si tous les interrupteurs sont fermés sauf 3. et K étant placé en 7, on mesure de même la tension de P_2 par rapport à la terre; 3° si tous les interrupteurs sont fermés sauf 1 et 2, K étant placé en 6, le voltmètre fonctionne en indicateur de synchronisme.

Lorsque l'interrupteur à haute tension I a été fermé, si on ferme également tous les interrupteurs des circuits de mesure, K étant placé en 7, A indique le courant traversant les conducteurs à haute tension et V, la tension. — B. E.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie d'Entreprises hydrauliques et de Travaux publics.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 2 MAI 1930.

Des rapports annuels, concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 10 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 25, rue de Courcelles, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La compagnie est intéressée à la construction de plusieurs usines hydroélectriques, dont une a été mise en service au début de 1929, tandis qu'un nouveau chantier a été ouvert au cours de l'année dernière. Elle a étudié divers aménagements de forces motrices hydrauliques, en France et dans les colonies, dont la réalisation est susceptible de réserver pour l'avenir des perspectives intéressantes. Elle participe en France aux travaux d'une importante usine génératrice thermique et a en outre été chargée des études et de la construction d'une usine à vapeur à l'étranger, dont les chantiers sont actuellement en pleine activité.

Dans le domaine de la transmission et de la distribution d'énergie électrique, elle a poursuivi pour le compte de diverses sociétés la construction de lignes à très haute tension et l'établissement de réseaux à moyenne et à basse tension, dans plusieurs régions de la France. Elle participe aussi à des travaux similaires en Algérie et en Tunisie.

Les diverses entreprises auxquelles la compagnie est intéressée, exécutées en participation avec des sociétés amies se sont développées normalement pendant la dernière campagne. Certains de ces travaux comportent l'utilisation de prestations en nature.

Plusieurs réclamations relatives à des travaux terminés ont pu être réglées par accords amiables au cours de l'exercice ; la compagnie continue à apporter toute son attention aux règlements de comptes des entreprises intéressant des administrations publiques, pour lesquelles des expertises ont été ordonnées.

Comme on peut le constater par l'examen du bilan, le montant du poste portefeuille se trouve augmenté assez notablement, par suite de participations prises dans le capital de sociétés amies, avec lesquelles la compagnie est en relations d'affaires suivies (1).

Le conseil a pris les mesures nécessaires pour instituer un compte de prévoyance et de retraite en faveur du personnel fixe de la compagnie, non assujetti à la loi sur les assurances sociales, permettant ainsi d'accorder certains avantages aux agents appelés à prendre leur retraite pour raison d'âge ou d'invalidité.

Voici quels sont les résultats financiers de l'exercice :

Le montant des recettes permet d'augmenter la réserve industrielle en y affectant un versement de 1 200 000 fr par le débit du compte de profits et pertes ; cette réserve se trouve ainsi portée à 2 400 000 fr.

Le compte de profits et pertes se présente alors comme suit :

Les études et entreprises en voie d'achèvement, déduction faite des frais et charges, ont laissé un produit net de 2 095 706,06 fr auquel s'ajoute le solde actif du compte intérêts et divers qui comprend le produit des capitaux disponibles, soit 284 038,58 fr.

Les recettes s'élèvent donc à un total de 2 379 744,64 fr.

Les dépenses se répartissent ainsi : frais généraux d'administration, 48 838 fr ; abonnement au timbre des actions, 20 000 fr ; versement à la réserve industrielle, 1 200 000 fr.

Les dépenses s'élèvent donc à un total de 1 268 838 fr.

Le bénéfice de l'exercice ressort ainsi à 1 110 906,64 fr.

Ce bénéfice est réparti de la façon suivante : à la réserve légale, 5 pour 100 de 1 110 906,64 fr, soit 55 545,34 fr ; dividende statutaire de 5 pour 100 au capital-actions, soit 12,50 fr par titre aux 40 000 actions, 500 000 fr.

Le solde disponible, qui s'élève à 555 361,30 fr, reçoit l'affectation suivante : 15 pour 100 au conseil d'administration, 83 304,20 fr ; 85 pour 100 à la disposition des actionnaires, 472 057,10 fr.

Il est prélevé sur ce reliquat un deuxième dividende de 4 pour 100 au capital-actions, soit 10 fr par titre aux 40 000 actions, 400 000 fr et le solde est affecté au fonds spécial de prévoyance, soit 72 057,10 fr.

Le dividende distribué pour l'exercice 1929 sera donc de 22,50 fr par action.

Ce dividende est mis en paiement à partir du 15 mai, sous déduction des impôts, contre remise du coupon n° 11.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Apports	1 »
Matériel et outillage d'entreprise	544 065,67
Caisses, banques et placements à terme	7 717 402,90
Rentes et valeurs du Trésor	1 153 633,93
Entreprises en cours	15 234 107,80
Portefeuille	3 779 518,40
Débiteurs divers	3 539 380,74
Dépôts et retenues de garantie	511 698,36
Impôts sur titres à recouvrer	138 935,14
	32 618 743,94

Passif.

	fr
Capital : 40 000 actions de 250 fr	10 000 000 »
Réserve légale	341 034,19
Réserve industrielle	2 400 000 »
Fonds spécial de prévoyance	558 708,87
Acomptes sur travaux	16 271 342,08
Créditeurs divers	1 902 354,19
Coupons à payer	34 397,97
Profits et pertes	1 110 906,64
	32 618 743,94

Forges et Ateliers de Constructions électriques de Jeumont.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 21 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital-actions de 80 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'activité de la société ne se ralentit pas et le chiffre des commandes reçues en 1929 a dépassé celui de l'année pré-

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 25 mai 1929, t. XXV, p. 830.

cédente; les résultats de l'exercice permettent, cette année encore, d'augmenter le dividende et de le porter à 37,50 fr pour les actions, et à 87,70 fr pour les parts de fondateur, contre 32,50 fr et 71,76 fr (1). Voici, d'autre part, quelques renseignements sur les affaires dans lesquelles la société dont nous nous occupons est particulièrement intéressée.

Electricité et Gaz du Nord. — Il a été enregistré, au cours de l'exercice écoulé, une nouvelle progression des ventes d'énergie électrique en haute et en basse tension ainsi que des ventes de gaz. Les moyens de production ont été tenus en harmonie avec la demande croissante d'énergie de la clientèle. D'autre part, les réseaux de distribution souterrains et aériens se sont accrus de près de 100 km en haute tension et 290 km en basse tension. Les bénéfices de l'exercice 1928-1929, provenant tant de l'exploitation des concessions que de la gestion du portefeuille, ont permis d'accroître sensiblement les dividendes attribués aux actions et aux parts bénéficiaires. Le dividende des actions est passé de 30 à 35 fr et le dividende des parts bénéficiaires de 342,85 fr à 428,57 fr.

Union européenne industrielle et financière. — Comme on le sait, l'Union européenne industrielle et financière tire la plus grande partie de ses revenus de l'activité de ses filiales. Or, les résultats de la plupart d'entre elles apparaissent en progrès marqués. C'est ainsi, par exemple, que le dividende de la Société anonyme des anciens Etablissements Skoda a été fixé, en 1929, à 70 couronnes, contre 56 couronnes en 1928, tandis que celui de la Société des Mines et Forges a été de 150 couronnes en 1929, contre 120 couronnes en 1928. Il est probable que ces chiffres seront au moins maintenus en 1930. Les comptes de cet exercice pour l'Union européenne industrielle et financière n'avaient pas encore été publiés, mais l'on peut déduire des chiffres ci-dessus que les résultats ne manqueront pas d'être favorables.

Lignes télégraphiques et téléphoniques. — Au cours de l'exercice 1929, la Société Lignes télégraphiques et téléphoniques a livré à l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones, dans les délais prévus, le câble téléphonique souterrain Paris-Lyon-Marseille. Le service de cette nouvelle artère a été officiellement inauguré à la satisfaction générale; l'achèvement de cette importante entreprise, dans des conditions particulièrement heureuses, enregistre un nouveau succès pour la Société Lignes télégraphiques et téléphoniques. L'activité de la société, pendant les derniers mois de l'exercice 1929, a été consacrée à la mise en route de l'exécution des dernières commandes reçues : câbles Nancy-Metz-frontière belge-Metz-frontière sarroise, câble Marseille-Nice-Menton, câble Lyon-Grenoble-Genève-Modane.

La Société Lignes télégraphiques et téléphoniques nord-africaines dans laquelle la Société Forges et Ateliers de Constructions électriques de Jeumont possède une intéressante participation, exploite, dans des conditions satisfaisantes, l'usine d'El-Alia (Algérie) dont la construction a été achevée à la fin de l'année 1929. La Société Lignes télégraphiques et téléphoniques nord-africaines a poursuivi la fabrication du câble commandé pour la ligne Oran-Alger-Constantine, et elle a reçu la commande du câble Casablanca-Rabat.

La comparaison sommaire du bilan avec celui de l'exercice précédent permet de constater les différences suivantes :

La réserve légale est en augmentation d'une somme de 748 937,62 fr, par prélèvement sur les bénéfices de l'exercice 1928.

Le fonds d'amortissement a été doté d'une somme de 5 000 000 fr, par prélèvement sur les bénéfices de l'année 1929. Il a été affecté au fonds de renouvellement une dotation de 5 000 000 fr et il en a été déduit une somme de 946 758,02 fr pour dépenses de l'exercice.

Il a été affecté au compte provision pour éventualités une somme de 3 000 000 fr prélevée sur les bénéfices de l'exercice 1929.

Enfin il a été affecté au compte provision pour assurances une somme de 2 000 000 fr prélevée sur les bénéfices de l'exercice 1929.

Le crédit du compte de profits et pertes s'élève à 36 205 606,46 fr se répartissant comme suit : bénéfices sur ventes et installations, produits du portefeuille et divers, 36 136 257,73 fr; report antérieur aux actions, 48 520,11 fr; report antérieur aux parts, 20 828,62 fr.

Au débit de ce compte figurent : frais généraux d'administration et divers, 772 026,57 fr; impôts divers, 2 708 948,54 fr; prélèvement pour le fonds d'amortissement, 5 000 000 fr; provision pour assurances, 2 000 000 fr; prélèvement pour le fonds de renouvellement, 5 000 000 fr; provision pour éventualités 3 000 000 fr.

Les bénéfices de l'exercice sur ventes et installations, les revenus du portefeuille, les intérêts des disponibilités et divers s'élèvent donc, déduction faite des frais généraux, impôts et amortissements, et y compris le report à nouveau de l'exercice précédent, à 17 724 631,35 fr.

Il est effectué la répartition suivante du solde bénéficiaire réserve légale 5 pour 100, 882 764,13 fr; premier dividende de 4 pour 100 aux actions, 3 200 000 fr; attribution au conseil d'administration, 1 048 927,26 fr; aux actions, second dividende de 27,50 fr, 8 800 000 fr; aux parts de fondateur, dividende de 87,70 fr, 3 771 100 fr.

Il est reporté à nouveau 15 057,97 fr pour les actions et 6 781,99 fr pour les parts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Premier établissement	57 026 439,91
Portefeuille	24 298 979,74
Mobilier du siège social	1 »
Brevets	1 »
Approvisionnements, travaux en cours et provisions sur commandes en cours	127 418 566,43
Caisses et banquiers	26 778 026,18
Débiteurs divers	90 663 869,41
Annuités de l'Etat	40 843 242 »
Compte d'ordre	187 500 »
	367 216 625,67

Passif.

	fr
Capital :	
320 000 actions de 250 fr	80 000 000 »
Réserve légale	5 669 478,30
Réserve extraordinaire	5 255 894,55
Fonds d'amortissement	52 800 000 »
Fonds de renouvellement	15 462 315,74
Fonds de prévoyance	2 000 000 »
Provision pour éventualités	24 000 000 »
Provision pour assurances	2 000 000 »
Provision pour régularisation des cours des matières premières et du portefeuille	9 190 150,01
Créditeurs divers	68 864 409,59
Coupons restant à payer	546 911,64
Provisions reçues sur commandes en cours	38 260 455,49
Versements à effectuer sur titres	4 896 775 »
Obligations 6 pour 100 garanties par l'Etat moins amortissement	21 865 000 »
Intérêts à recevoir de l'Etat	18 493 104 »
Compte d'ordre	187 500 »
Profits et pertes	17 724 631,25
	367 216 625,67

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 6 juillet 1929, t. XXVI, p. 36.

SECTION DE LÉGISLATION

La désignation des pièces détachées

*L'auteur expose la question délicate de l'emploi du nom ou de la marque d'un tiers pour désigner des pièces détachées à titre de référence. Cet emploi est-il ou non licite? Suivant la solution qui, dans le dernier état de la jurisprudence, semble affirmative, une industrie considérable, celle des « fourniturist*es » ou « accessoiristes », qui existent pour de nombreuses industries, sera prospère ou sera gravement atteinte. En raison de l'ère de normalisation à outrance dans laquelle nous entrons, la question a une importance capitale.*

I. **Introduction.** — C'est une grave question, devenue aiguë depuis quelques années, dès lors qu'avec le développement de la construction en grande série des machines et appareils de vente étendue, une industrie importante de la pièce détachée ou pièce de rechange s'est instaurée et tend à s'accroître constamment.

Il y a désormais des fabricants, des dépositaires et revendeurs de pièces détachées de machines à écrire, à calculer, de pièces d'horlogerie, d'automobiles, de machines agricoles, d'appareils de mesure, etc... qui occupent des usines entières, des magasins importants, et offrent au public leur production en désignant chaque pièce à l'aide d'une référence connue, qui est généralement, et par nécessité, celle du constructeur originaire, et, plus généralement encore, le nom ou la marque de ce constructeur.

C'est ainsi que, pour désigner par exemple une pièce de rechange d'une voiture automobile, qui varie suivant la voiture à laquelle elle est destinée, un fabricant ou un revendeur de pièces de ce genre est obligé de les désigner par le nom générique de la pièce accompagné, pour la caractériser, de l'expression « pour voiture un tel » employant ainsi comme référence le nom et la marque du constructeur de la voiture.

Cette pratique courante, sans laquelle l'industrie de ceux qu'on a coutume d'appeler des « fourniturist*es* » ou « accessoiristes », serait pratiquement impossible, est-elle licite?

Depuis quelques années des décisions judiciaires sont intervenues, à la suite de réclamations, notamment des constructeurs d'automobiles, telles que les maisons Renault, Fiat, Ford, Berliet ou d'autres maisons comme Ingersoll-Rand (voir *Annales de la Propriété industrielle*, 1929, p. 73 et suivantes) qui divisèrent la jurisprudence.

Les décisions les plus récentes ont cependant marqué une orientation plus nette de la jurisprudence vers la thèse de la licéité, du moment qu'aucune manœuvre de concurrence déloyale n'accompagnait l'emploi de la référence.

Il est donc intéressant d'examiner la question.

II. **Examen de quelques décisions judiciaires.** — La loi française du 23 juin 1857 donne, dans son article premier, paragraphe 3, une définition de la marque, que l'on retrouve, à quelques différences de rédaction près, dans presque toutes les législations : « La marque sert à distinguer les produits d'une fabrication ou les objets d'un commerce ». La doctrine, E. Pouillet, notamment, dans sa sixième édition, la définit : « Le moyen matériel de garantir l'origine ou la provenance de la marchandise au consommateur ». On retrouve cette définition dans de nombreuses décisions notamment dans un arrêt de la Cour d'Appel de Paris du 16 janvier 1868 (*Annales de la Propriété industrielle*, 1868, 8, p. 366); un arrêt de la même cour du 3 décembre 1912 (*Annales de la Propriété industrielle*, 1913, 1, p. 369) déclare notamment que « la marque est l'indication de l'origine et de la provenance du produit, etc... »;

Il n'y a donc pas de difficulté : la marque, comme le nom commercial d'ailleurs, ont pour objet de faire connaître l'origine et la provenance de la marchandise qui les évoque.

Toute la législation sur les marques gravite autour de ce principe fondamental : garantir l'origine, d'où découle la règle de la répression de tous les agissements ayant pour but et pour effet de tromper l'acheteur à l'aide d'une confusion, c'est à-dire en dissimulant la provenance effective pour faire croire à une provenance fictive, préférée par le consommateur.

Quels que soient les moyens employés par le contrefacteur ou l'imitateur de la marque, quelles que soient les circonstances de la confusion, c'est toujours d'une tromperie sur l'origine qu'il s'agit; il n'y a d'infraction que s'il y a tromperie ou tentative de tromperie.

Mais, dira-t-on, la jurisprudence, en France tout au moins, admet que le seul fait matériel de l'emploi, sans autorisation du titulaire, d'un nom commercial ou d'une marque déposée est suffisant pour constituer une atteinte répréhensible, qu'il n'est besoin ni d'une confusion, et par suite d'une tromperie, ni d'un préjudice

pour justifier l'action contre l'usurpateur (voir Pouillet, Taillefer et Claro, *Marques de fabrique*, 5e édition, paragraphes 256-260-282-283 ; Cour de Cassation, 2 janvier 1892 ; Cour de Cassation, 15 février 1909 ; *Annales de la Propriété industrielle*, 1926, 34, 39, note Fernand-Jacq et les renvois à de précédentes notes).

Si l'on examine attentivement ces avis ou ces décisions et les faits qui les motivent, on doit constater qu'en fait cependant, il y a toujours eu, pour qu'il y ait infraction, tromperie ou tentative de tromperie sur l'origine, et il ne peut pas en être autrement, la marque ou le nom ne pouvant être employés par un tiers, même de bonne foi, même inconsciemment, que pour désigner nécessairement un produit déterminé, provenant de telle et telle maison et, par suite, pour indiquer son origine.

L'emploi d'un nom ou d'une marque pour désigner des pièces détachées, qui ne sont, par définition, protégées ou protégeables, ni par un brevet ni par un dépôt de modèle, qui ne comportent pas de dénominations particulières, qui, différant selon la destination qui leur est dévolue, ne pourraient être désignées que par un terme générique incapable de les identifier, ne peuvent l'être dans la pratique que grâce à l'emploi, à titre de référence indispensable, d'un nom ou d'une marque caractérisant l'objet auquel elles sont destinées ; cet emploi est-il licite ?

Le nom patronymique, même considéré sous l'angle commercial, la marque déposée, légalement valable, constituent-ils une propriété dont un tiers ne peut faire usage sous quelque prétexte que ce soit, même comme simple référence, indispensable pour identifier un objet qui ne peut être caractérisé autrement et alors que l'usage de ce nom ou de cette marque ne détermine aucune erreur, n'a pour effet aucune tromperie, ne concerne à aucun titre l'origine ou la provenance du produit et ne vise que la destination qu'aucun autre terme ne peut, en la circonstance, indiquer ?

L'équité et le bon sens semblent conduire à la négative.

C'est cependant le contraire qu'ont décidé, en termes laconiques d'ailleurs, un jugement du Tribunal de Commerce de la Seine du 8 janvier 1927 (*Annales de la Propriété industrielle*, 1929, 94) et des arrêts de la Cour de Paris des 27 juillet 1927, 8 juillet 1927 et 5 février 1929, (*Annales de la Propriété industrielle*, 1929, 74, 99), alors que d'autres juridictions, tout en retenant pour la plupart, comme répréhensible, l'emploi du nom ou de la marque d'un tiers, accompagné de manœuvres destinées à tromper le consommateur, ont eu soin de spécifier que, lorsque des fabricants de pièces détachées, adaptables aux machines de telle ou telle maison, sont obligés de désigner cette maison, ladite destination exprimée clairement et loyalement étant nécessaire, rentrait dans les relations normales et licites du libre commerce, que « seul son abus, dans des conditions prêtant à confusion, est de nature à porter atteinte à la propriété du titulaire du nom et de la marque » (Tribunal de Commerce de Lyon, 22 janvier 1925, 12 novembre 1926 et 29 janvier 1928 ; Tribunal civil de la Seine, 1er et 15 mars 1928 ; Tribunal civil de Lille, 27 mai 1928 ; Tribunal de Commerce de la Seine, 28 juin 1928 ; Tribunal de Commerce de Lyon, 23 avril 1928 et 26 janvier 1929 ; Tribunal civil du Rhône, 31 mars 1928 ; Tribunal de Commerce de Lyon, 16 janvier 1929, *Annales de la Propriété industrielle*, 1929, 73 à 93, voir aussi Cour d'appel de Besançon, 26 mai 1909 et Cour de Cassation, 23 mai 1911 ; *Annales de la Propriété industrielle*, 1922, 1, 149 ; voir encore Tribunal civil de la Seine, 30 mars 1922, *Annales de la Propriété industrielle*, 1922, 246 (1)).

Le jugement du Tribunal civil de la Seine du 1er mars 1928, qui, il faut le souligner, a condamné le défendeur à la requête du poursuivant à des dommages et intérêts pour usage abusif du nom et pour emploi de manœuvres tendant à tromper l'acheteur, a tenu à s'expliquer avec netteté sur la question de principe et à la résoudre avec l'appui d'arguments particulièrement intéressants résumant les moyens invoqués par les partisans de la licéité de l'emploi de la référence normale et de bonne foi du nom et de la marque d'un tiers pour les pièces détachées.

Il nous paraît indispensable de citer ci-après la partie du jugement relatant ces arguments :

« Attendu que les demanderesses basent avant tout leur action sur le caractère absolu de la propriété du nom (lois des 18 et 24 juillet 1824) et que la propriété de la marque (loi de 1857, art. 7, § 1er) qui fait que le simple usage du nom ou de la marque constitue ipso facto un délit sans qu'il soit nécessaire d'y ajouter une intention frauduleuse ;

» Mais attendu que précisément parce que le nom commercial et la marque sont susceptibles de propriété privative, ils peuvent devenir le seul moyen de désigner la maison qui en est devenue propriétaire ;

» Qu'ainsi est créée pour tous une obligation sans doute, mais aussi un droit corrélatif de se référer à ces signes distinctifs pour désigner ceux qui en sont les propriétaires ;

» Que le seul fait de désigner quelqu'un par son nom comme de désigner une maison par sa raison sociale ne saurait donc constituer un acte illicite ; qu'il s'établit ainsi une différence assurément assez ténue, mais

(1) Voir d'autre part la décision du Tribunal fédéral suisse du 23 janvier 1929, affaire Laurent contre International Harvester Co, publiée dans la *Semaine judiciaire de Genève* du 26 mars 1929, qui spécifie que celui qui veut se référer à la marque d'autrui doit en tous cas le faire explicitement, de façon à éviter toute possibilité de confusion de ses produits avec ceux du propriétaire de la marque ; il ne peut se contenter d'indiquer sur les étiquettes de ses pièces détachées qu'elles s'adaptent à telle ou telle marque de machine, il doit encore mentionner clairement l'origine de sa marchandise.

Cette décision n'a rien de contraire aux décisions françaises que nous approuvons puisqu'elle admet la possibilité d'utiliser, comme référence, pour des pièces détachées ou de rechange, la marque d'autrui à titre de simple référence à la condition d'éviter toute possibilité de confusion sur l'origine de la marchandise.

réelle cependant entre l'appellation, la désignation ou la référence nécessaire, d'une part, et l'utilisation faite à son profit et sans nécessité, de bonne ou de mauvaise fois d'ailleurs, du nom ou de la marque d'autrui, qui seul constitue l'usage délictueux réprimé par la loi ;

» Qu'il appartient aux tribunaux d'apprécier le caractère de nécessité qui différencie les deux hypothèses ;

» Attendu, d'autre part, que par application du principe d'ordre public de la liberté du commerce et de l'industrie, sont libres la fabrication et la vente des accessoires, ou des pièces détachées adaptables aux machines de telle ou telle maison, lorsque ces accessoires ou ces pièces détachées ne sont pas ou ne sont plus protégés par un brevet ou par un dépôt de modèles, et ne tendant pas à la reconstitution d'une combinaison brevetée ;

» Qu'en matière d'automobiles, le nombre infini des marques oblige les petits fabricants à se spécialiser dans les fournitures adaptables à l'une ou à quelques-unes d'entre elles :

» Qu'il s'ensuit la nécessité de les désigner ; que de ce qui précède il résulte que cette désignation nécessaire ne constitue, en principe, qu'une simple référence permise et non pas un usage illicite ;

» Qu'il n'est point inutile de faire observer que la solution contraire aurait pour résultat, d'une part, de faire disparaître cette industrie au grand détriment non seulement des petits fabricants, mais aussi du public et, d'autre part, par le monopole de fait accordé aux grandes marques, de prolonger la protection des brevets au delà du terme de quinze ans prévu par la loi, empêchant ainsi la collectivité française de bénéficier de l'invention tombée dans le domaine public ;

» Mais qu'en dehors de toute considération économique, la simple référence doit être permise par la seule application des principes du droit qui viennent d'être rappelés ;

» Que si, au contraire, la marque, de mauvaise ou même de bonne foi, est appliquée sur l'accessoire vendu par le petit fabricant et fabriqué par lui, il y a plus qu'une référence, il y a un usage de la marque et par conséquent contrefaçon ;

» Que si la marque ou la dénomination, de simple référence devient une enseigne, il y a encore usage de marque contrefaite et usurpation de nom ;

» Que si sous couleur de désigner telle ou telle maison, ou tel ou tel produit, on se sert en réalité du nom ou de la marque pour faire croire que l'objet vendu vient de la maison désignée, et profiter ainsi du crédit de cette maison pour passer au public des produits provenant de sa propre fabrication, alors aux délits précédents vient s'ajouter le quasi-délit de concurrence déloyale ;

» Que tout en résumé se ramène à une question de fait. »

Cette citation dispense, semble-t-il, de tout commentaire.

III. **Conclusion en faveur de la licéité.** — Il est certain qu'en l'absence de manœuvres de tromperie ou de tromperie effective, l'ordre public n'étant pas intéressé, la liberté du commerce doit jouer et l'emporter sur l'atteinte toute théorique aux droits privatifs d'un individu, qui n'a subi, en la circonstance, aucun dommage même moral.

D'ailleurs ce droit, à le bien étudier, n'est pas un droit de propriété à proprement parler, (voir Maunoury, *Nom commercial*, p. 120 ; G. Maillard, étude dans les *Annales de la Propriété industrielle*, 94, 343 ; Fernand-Jacq. *Annales de la Propriété industrielle*, 927, 234), et les avantages qu'il peut conférer à son titulaire (on pourrait raisonner par analogie pour la marque qui est souvent en même temps une raison de commerce ou un nom commercial) ne peuvent dépasser ceux qui sont strictement nécessaires à sa protection contre la fraude et l'abus.

Ainsi, et c'est l'opinion qui semble avoir dominé la discussion à Amsterdam, permettre au titulaire d'un nom ou d'une marque d'interdire aux fabricants ou marchands de pièces détachées, aux « accessoiristes » (suivant le terme employé dans le commerce), l'offre en vente de leur production à l'aide de la référence indispensable pour que le consommateur puisse l'acheter, serait en fait accorder au titulaire du nom ou de la marque employée comme référence, un monopole de vente et par suite de fabrication (l'impossibilité de vendre conduisant à l'interdiction de fabriquer), que ne procurent que temporairement, et dans certaines circonstances seulement, les brevets d'invention et les modèles de fabrique.

Cette constatation à elle seule justifierait la thèse des partisans de la liberté, parmi lesquels nous nous sommes rangés, dès les premiers échos de la dispute.

Si l'on peut à la rigueur prétendre que le surmoulage, même d'objets non protégeables par un brevet ou par un modèle, doit être interdit comme constituant un agissement déloyal ayant pour but et pour effet de s'approprier déloyalement le travail d'autrui, il serait absurde, et en tous cas inique, de permettre à un constructeur de confisquer à son profit exclusif, pour un temps indéfini, en fonction de l'étendue de la protection réservée aux noms et aux marques, des formes banales nécessaires, en tous cas dénuées de toute protection légale, soit en raison de la non-brevetabilité, soit en raison de l'absence d'originalité de la forme, soit en raison même de l'expiration des brevets ou modèles, qui pouvaient à l'origine les couvrir.

Aussi persistons-nous dans la règle qui avait servi de conclusion à notre précédente étude et qui s'exprimait ainsi : « S'il y a délit à tromper sur l'origine d'un produit en utilisant la marque (ou le nom) qui le caractérise, il ne peut y avoir un acte illicite dans l'emploi de la même marque (ou du même nom) comme simple référence, c'est-à-dire pour indiquer, non plus l'origine, mais la destination du produit ».

Nous justifions, d'autre part, comme il suit, notre opinion et l'on remarquera que les arguments invoqués

en faveur de notre thèse sont exactement ceux adoptés par le jugement du Tribunal civil de la Seine du 1er mars 1928 que nous avons cité ci-dessus (notre étude était composée avant de connaître le texte exact du jugement dont il s'agit, ce qui tend à établir que ces arguments s'imposent à l'esprit) :

« Toute la matière de la propriété industrielle est dominée par cette conception générale, logique, et foncièrement équitable : empêcher les tiers de tirer parti des avantages accordés pendant la durée du monopole concédé à l'inventeur, au créateur du modèle ou de la marque.

» Or, vendre des pièces détachées sans chercher à faire croire, et mieux encore en laissant entendre, ou en spécifiant que celles-ci ne proviennent pas de la maison portant le nom de l'objet ou de la machine auxquels elles sont destinées, n'est point usurper la réputation consacrée par la marque, pour tromper l'acheteur, et l'acte apparaît parfaitement justifié.

» Le marchand de pièces détachées est contraint de dénommer l'objet qu'il vend à l'aide de la seule dénomination possible pour le désigner sans ambiguité ; le nom et la marque ne sont employés en la circonstance que comme références nécessaires, non pas en leur qualité de marque ou de nom commercial désignant un produit, mais en vue d'indiquer la destination d'une pièce qui n'a pas de nom propre et ne peut être désignée que par la référence au nom ou à la marque.

» De même que l'on est obligé pour s'adresser à quelqu'un de l'appeler par son nom, de même pour désigner un objet on utilise nécessairement l'appellation sous laquelle il est connu, n'ayant aucun autre moyen de l'identifier.

» Dira-t-on qu'il y a usurpation d'un nom patronymique en la circonstance, alors même que si l'on considère le nom comme référant une propriété proprement dite l'emploi du nom à ce titre est manifestement licite?

» Il est donc évident que si l'on appliquait dans toute sa rigueur la théorie de l'emploi matériel, par un mode quelconque, d'une marque ou d'un nom comme constitutif de la contrefaçon, on aboutirait à l'absurde et à l'inique.

» Interdire la désignation, même à titre de simple référence pour les pièces détachées, du nom ou de la marque définissant l'objet auquel elles sont destinées conduirait à en interdire la vente et par suite la fabrication.

» Ce serait attribuer au détenteur du nom ou de la marque un monopole plus certain sur les objets, que ce nom ou cette marque désignent pour leur utilisation, que celui, tout temporaire d'ailleurs, conféré par un brevet ou un modèle, ce qui est inadmissible.

» On assisterait à ce spectacle effarant d'industriels qui, parce qu'ils bénéficient d'un nom ou d'une marque renommés, vendraient à prix de monopole des objets dénués en eux-mêmes de toute protection particulière, et aussi longtemps que leur nom ou leur marque se perpétueraient, c'est-à-dire indéfiniment, en imposant aux consommateurs tous leurs caprices !

» Il suffit d'exposer cette prétention et cette situation pour en condamner même l'hypothèse.

» En réalité et sans avoir à rechercher d'autres raisons pour résoudre par l'affirmative la question qui sert de fronton à cette brève dissertation, il convient de constater que les droits privés les plus certains en apparence doivent s'incliner chaque fois qu'ils heurtent un droit plus général ayant un caractère d'ordre public. »

Ce sont ces principes, que nous nous sommes efforcés de faire accepter par le Congrès international pour la Protection de la Propriété industrielle, qui vient de se tenir au début de juin à Budapest.

Les rapports déposés par les diverses délégations des vingt pays représentés tendaient dans leur majorité à entériner nos conclusions.

Mais la discussion, en raison peut-être de l'antagonisme de certains intérêts, prit un caractère passionné et se prolongea au point de lasser la patience et le goût de nombreux congressistes, de telle sorte qu'au vote, en fin de séance, une motion préjudiciellle fit admettre (ce qui déplaçait complètement la position du problème) qu'en toute circonstance l'usage du nom et de la marque d'un tiers constituait l'atteinte au droit du propriétaire du nom ou de la marque ! Cette motion votée à une faible majorité par un petit groupe de congressistes n'a donc rien tranché, en dépit de la netteté apparente de la résolution admise.

En France notamment, la jurisprudence paraît désormais fixée dans le sens que nous persistons à préconiser, la Cour de Paris (4e Ch) venant dans un tout récent arrêt, à l'occasion de pièces détachées pour magnétos (arrêt du 5 février 1930) de se rallier à la jurisprudence du Tribunal et de la Cour de Lyon, du Tribunal de la Seine, du Tribunal du Nord (Lille) jurisprudence qui avait été antérieurement celle de la Cour de Besançon et de la Cour de Cassation.

Nous avions donc raison d'estimer que l'emploi du nom ou de la marque d'un tiers, pour désigner des pièces détachées, toutes les fois qu'elle n'est employée qu'à titre de référence, uniquement pour désigner la destination de l'objet, sans emploi de manœuvres déloyales, pour tenter de tromper l'acheteur snr l'origine de la fabrication, est parfaitement licite.

Nous sommes convaincu que la jurisprudence à venir ne pourra que maintenir celle qui s'est imposée déjà, en appliquant nécessairement les règles les plus certaines de l'équité et du droit.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit, avocat à la Cour d'Appel de Paris, examinateur à l'Ecole des hautes Etudes commerciales.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR : **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF : **Ad. CURCHOD**, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 3. — 19 JUILLET 1930.

Chronique. — Commission électrotechnique internationale : Septième assemblée plénière, p. 81. — Bibliographie : Annuaire de la Production métallurgique et mécanique de Lyon et de la région, p. 82.

Section scientifique et technique. — Le diagramme du courant du moteur Boucherot à double cage à partir d'essais indirects, par E. SCHWARZKOPF, p. 83. — Revues, analyses et informations : La capture d'électrons par des particules α, p. 87 ; Sur l'espace obscur cathodique dans la décharge cathodique de Geissler, p. 90 ; Les facteurs mécaniques et magnétiques capables d'exercer une influence sur l'orientation et la perfection des cristaux isolés de bismuth, p. 91 ; Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piézoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion, p. 92 ; Mesure de la constante diélectrique et de l'indice de réfraction de l'eau et des solutions aqueuses de chlorure de potassium aux fréquences élevées. p. 93 ; L'effet Hall, la conductivité électrique et le pouvoir thermoélectrique de la série d'alliages plomb et antimoine, p. 94.

Errata, p. 94.

Section industrielle. — La classification des appareils d'éclairage d'après la répartition du flux lumineux, par J. WETZEL, p. 95. — Le problème des huiles isolantes en électrotechnique (*suite et fin*), par H. WEISS et T. SALOMON, p. 97. — Revues, analyses et informations : Essais à 220000 volts d'interrupteurs à grilles « dcïon », p. 107 ; La station de pompage du lac d'Artouste, p. 107.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : Quelques considérations économiques et financières sur la situation de l'industrie française, p. 109. — Assemblées générales : Société havraise d'Energie électrique, p. 114 ; Société d'Electricité de la Région de Valenciennes-Anzin, p. 116.

Section de législation. — Des conflits juridictionnels provoqués par les disparates entre polices d'abonnements et cahiers des charges, par Ch. BLAEVOET, p. 117.

Commission électrotechnique internationale : Septième assemblée plénière.

— Conformément à la décision prise à l'issue de la dernière réunion en 1927 (1), la septième assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale s'est tenue récemment, du 27 juin au 9 juillet 1930, successivement dans chacune des capitales des trois pays scandinaves.

La séance d'ouverture a eu lieu à l'hôtel de ville de Copenhague sous la présidence de M. P.-O. Pedersen, président du Comité électrotechnique danois. Après avoir souhaité la bienvenue aux délégués étrangers, M. Pedersen, dans son discours, fit une allusion au physicien danois Oersted et remarqua qu'il était indiqué d'avoir choisi comme lieu de séance d'ouverture de cette assemblée plénière la ville même où fut observée pour la première fois l'action magnétique du courant électrique. Voici d'ailleurs le texte de ce discours qui a été prononcé en français et en anglais.

Je considère comme un grand honneur d'avoir été appelé à vous souhaiter la bienvenue au nom du Comité électrotechnique danois. Je suis heureux et fier de voir assister à la séance d'ouverture de la septième assemblée plénière de la Commission électrotechnique internationale, tant de membres distingués de cette Commission.

Ce n'est pas sans hésitation que nous nous sommes décidés à vous inviter et je crois que ces hésitations vous paraîtront justifiées, si vous songez aux assemblées plénières qui ont précédé celle ci. Je me contenterai de ne citer que les deux dernières : les réunions de New-York et de Bellagio ; d'abord, les Etats-Unis avec leurs immenses ressources de toute nature, leur industrie énorme et leur richesse opulente ; puis, l'Italie, pays qui a su créer une harmonie heureuse entre les merveilles du présent et les fiers souvenirs du passé et qui possède, de plus, une importante industrie électrique dont le développement est constant et rapide. Que pourrons-nous vous offrir ? Qu'avons-nous à vous montrer qui serait comparable de quelque manière aux merveilles auxquelles je viens de faire allusion ? En ce disant, je ne songe pas, bien entendu, à nos frères suédois et norvégiens. Ils ont, eux, leurs magnifiques chutes d'eau, leurs importantes usines génératrices, leurs industries électriques considérables, le soleil de minuit et que sais-je encore ?

Mais, le Danemark, en quoi pourra-t-il se distinguer à vos yeux ? Nous n'avons point de montagnes, point de fleuves et, par conséquent, point de chutes d'eau. Il s'ensuit que notre industrie électrique est modeste bien qu'en bonne voie de progression. Quant à l'application pratique de l'électricité dans l'agriculture, la téléphonie, la télégra-

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 17 mars 1928, t. XXIII, p. 478.

phie sans fil, nous avons assez bien emboîté le pas —peut-être — mais rien de tout cela ne vous sautera aux yeux pendant une visite furtive chez nous.

Nous n'en sommes pas moins particulièrement heureux de vous souhaiter la bienvenue aujourd'hui, dans notre pays, et pour le dire franchement, nous considérons, au fond de nos cœurs, comme une sorte de justice que nous rend l'histoire, le fait que la première réunion qui ait lieu après celle de Bellagio se tienne en Danemark et tout spécialement à Copenhague. Permettez-moi de vous expliquer sommairement sur quoi repose ce sentiment.

Volta fit la découverte du moyen de production des courants électriques constants. Il posa ensuite la première pierre de l'édifice grandiose de l'électrotechnique. L'hommage enthousiaste que les ingénieurs rendirent à la mémoire de Volta lors de la réunion à Bellagio ne fut qu'une manifestation naturelle de la gratitude qu'éprouve tout électrotechnicien à l'égard des grands hommes sur les découvertes desquels reposent tous ses travaux.

La seconde pierre fondamentale fut posée, il y a 110 années, par le savant danois Hans-Christian Oersted par sa découverte de l'électromagnétisme, découverte qui fut faite à quelques centaines de mètres de l'endroit où nous nous trouvons réunis en ce moment. Lorsque Oersted observa, pour la première fois, la déviation d'une aiguille aimantée sous l'effet d'un courant électrique — ou plus exactement, lorsqu'il vit pour la première fois l'aiguille que voici, décliner sous l'action du courant — il inaugura l'ère d'une science nouvelle, celle de l'électromagnétisme, une science qui se développa si merveilleusement, par les travaux d'Ampère et auxquels le génie de Faraday a donné une extension si importante et si féconde.

Au cas où cette découverte de l'électromagnétisme n'eût jamais été faite, le monde d'aujourd'hui aurait présenté un tout autre aspect. Comme une des conséquences, parmi les moindres, de cette découverte, je me contente de faire remarquer que, sans elle, nous ne nous serions pas trouvés aujourd'hui à cette réunion. C'est qu'il n'y aurait pas eu de Commission électrotechnique internationale pour la simple raison que nous n'aurions pas eu d'électrotechnique.

C'est pourquoi cette aiguille est, à notre avis, une des reliques historiques de l'électrophysique. Le Comité danois a voulu, dans tous les cas, fournir aux délégués ici présents l'occasion de voir l'aiguille d'Oersted.

J'exprime le vœu que la réunion, inaugurée par cette séance, puisse amener des résultats heureux. La Commission électrotechnique internationale et les conférences d'électriciens qui l'ont précédée sont parmi les plus anciens groupements internationaux des ingénieurs. Or, il est heureux pour nous qu'il en soit ainsi. Nous avons obtenu l'unification dans le monde entier d'un volt, d'un ampère, d'un watt, etc. Songez à la perte de temps et d'argent qui eût résulté, autrement, d'un volt comme unité de tension européenne continentale, différente d'une unité anglaise appelée faraday, d'une unité américaine dénommée franklin, etc.

Je souhaite à la Commission électrotechnique internationale d'apporter également dans l'avenir une solution heureuse à toutes les questions dont elle se trouverait saisie.

J'en finis ici en vous souhaitant, de nouveau, une cordiale bienvenue en Danemark, patrie de Hans-Christian Oersted.

C'est à Stockholm que se tinrent, du 30 juin au 5 juillet, les séances de travail. Trois cents délégués représentant vingt-deux nations prirent part à ces réunions, dans le Palais du Parlement, mis aimablement à la disposition de la Commission électrotechnique internationale. Malgré un deuil cruel qui le frappait au moment où les délégués arrivaient en Suède, M. A.-F. Enström, président du Comité électrotechnique suédois, tint à marquer par sa présence à la séance inaugurale du lundi 30 juin tout l'intérêt qu'il porte aux travaux importants de la Commission électrotechnique internationale.

Pendant une semaine, les différents comités d'études se réunirent journellement pour examiner et discuter les nombreuses questions portées à leur ordre du jour. Comme pour les réunions précédentes, nous nous proposons de donner prochainement dans ces colonnes le compte rendu des résolutions adoptées par les comités d'études. Nous tenons également à signaler les intéressantes excursions touristiques et visites d'usines que les comités des pays scandinaves avaient organisées pour les membres de la Commission électrotechnique internationale et leurs familles, au cours de leur passage trop rapide dans leurs pays respectifs.

La séance de clôture eut lieu le mercredi 9 juillet 1930, à Oslo, sous la présidence de M. Carsten Bruun, président du Comité électrotechnique norvégien. A l'issue de cette réunion, qui avait pour but de ratifier les décisions prises pendant les séances de travail des comités à Stockholm, l'assemblée confirma par un vote unanime la proposition du Conseil de nommer M. A.-F. Enström, président du Comité électrotechnique suédois, comme successeur de M. C. Feldmann à la présidence de la Commission électrotechnique internationale et de tenir à Prague, sur l'invitation du Comité électrotechnique tchécoslovaque, la prochaine assemblée plénière, en 1934. — M. B.

Bibliographie : Annuaire de la production métallurgique et mécanique de Lyon et de la région (1). — Cet annuaire, créé par la Chambre syndicale des Industries métallurgiques et connexes du Rhône et de la Région, n'est pas destiné seulement à ses membres ; il est surtout largement répandu, tant en France qu'à l'étranger, auprès de toutes les maisons particulièrement susceptibles de s'intéresser à la production des industries de la région lyonnaise.

Pour la commodité du lecteur, les membres de la Chambre syndicale ont été classés par ordre alphabétique, puis par groupe de fabrication, enfin dans une table des espèces de fabrication où les firmes déjà répertoriées sont inscrites sous les noms des divers articles qu'elles produisent, articles classés eux-mêmes par ordre alphabétique. Les recherches des acheteurs sont ainsi limitées au minimum de temps.

Une importante publicité accompagne ce volume et les acheteurs pourront y trouver tous les détails sur les affaires qui les intéressent et sur les maisons qui ont manifesté ainsi le désir de se faire connaître.

Un répertoire succinct de la presse technique complète l'ouvrage ainsi que quelques textes de lois auxquels les industriels sout journellement obligés de se référer et qui leur sont indispensables. — R. L.

(1) Un volume, format 24 cm × 15,5 cm, de 224 pages, édité par la Chambre syndicale des Industries métallurgiques et connexes du Rhône et de la Région, 36, rue Molière, Lyon.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Le diagramme du courant du moteur Boucherot à double cage à partir d'essais indirects

Après avoir rappelé les relations qui existent entre le courant du stator d'un moteur Boucherot à double cage et les courants rotoriques, l'auteur étudie, dans l'article qui suit, les variations de ce courant avec le glissement et construit par points le lieu de l'extrémité du vecteur représentant ce courant. Il indique ensuite la correction à apporter à ce premier diagramme pour tenir compte de la chute de tension dans le stator, la différence de potentiel aux bornes étant supposée constante. Il est possible d'établir le diagramme d'un moteur donné si l'on connaît les éléments caractéristiques de la machine ; c'est la détermination de ces éléments à l'aide des résultats d'essais qui fait l'objet de la seconde partie de cet article.

I. **Principe du diagramme.** — Possédant les éléments de calcul du moteur Boucherot à double cage, on peut trouver son diagramme de la façon suivante : on néglige d'abord l'impédance statorique et on suppose constante la tension U appliquée au stator.

La force contre-électromotrice E_1 sera égale et opposée à U. Dans un diagramme utilisant les coefficients de self-inductance partielle, il n'y a qu'un seul flux à considérer qui est commun au stator et au rotor. Dans ces conditions, la force électromotrice rotorique E_2 n'est fonction que de la vitesse relative du rotor par rapport au champ tournant statorique et du rapport de transformation τ à l'arrêt du moteur.

Si γ désigne le glissement du moteur on a

$$E_2 = \tau E_1 \gamma ;$$

et, puisque l'impédance statorique Z_1 est nulle

$$E_2 = \tau U \gamma .$$

Cette force électromotrice, qui est la même dans les deux cages du rotor, y produira des courants différents et de phases différentes. Soient $R_2, R'_2, L_2\,\Omega$ et $L'_2\,\Omega$ les résistances et réactances de fuites des deux cages (1) ; on aura, à l'arrêt ;

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + L_2^2\Omega^2}} ; \qquad \cos\varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + L_2^2\Omega^2}} ;$$

$$I'_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R'^2_2 + L'^2_2\Omega^2}} ; \qquad \cos\varphi'_2 = \frac{R'^2}{\sqrt{R'^2_2 + L'^2_2\Omega^2}} .$$

Les deux courants dans les cages produiront des champs tournants et les ampères-tours statoriques auront à compenser la somme géométrique des ampères-tours du rotor et des ampères-tours magnétisants.

(1) On néglige l'action mutuelle des deux cages.

Si nous désignons par I_r le courant résultant de I_2 et I'_2, on a

$$I_1 = I_\mu + \frac{K_2 n_2}{K_1 n_1} I_r ,$$

$$I_1 = I_\mu + \tau I_r ,$$

ces sommes étant des sommes géométriques. τI_r est équivalent à un courant statorique. I_r est produit par E_2 ; τI_r serait produit par $\tau E_2 = \tau^2 E_1$.

Pour trouver I_2 graphiquement il suffit de décomposer E_2 suivant les directions de $R_2 I_2$ et $L_2\,\Omega\, I_2$ à l'arrêt du moteur et suivant $R_2 I_2$ et $L_2 \gamma \Omega I_2$ à un glisssment quelconque γ en multipliant E_2 par γ. D'une façon analogue, on trouvera I'_2, d'où leur résultante I_r.

Les vecteurs représentants $R_2 I_2$ et $R'_2 I'_2$ sont proportionnels et respectivement en phase avec I_2 et I'_2. En divisant tous les vecteurs par R_2 pour une cage et par R'_2 pour l'autre cage, on obtiendrait directement I_2 et I'_2, et en multipliant tous les vecteurs par τ on aurait τI_2 et $\tau I'_2$ dont la somme serait τI_r.

Il suffira donc de décomposer $\tau E_2 = \tau^2 E_1$ suivant $R_2 I_2$ et $L_2\,\Omega\, I_2$, et d'une façon analogue pour $\tau I'_2$. La construction serait la suivante : traçons (fig. 1), des droites OB et OB' faisant respectivement des angles α et β avec l'axe des courants réactifs et abaissons sur ces droites des perpendiculaires MC et M'C' (1) après avoir porté

$$OM = \frac{\tau^2 E_1}{R_2} ; \qquad \operatorname{cotg}\alpha = \frac{L_2\Omega}{R_2}$$

$$OM' = \frac{\tau^2 E_1}{R'_2} ; \qquad \operatorname{colg}\beta = \frac{L'_2\Omega}{R'_2} .$$

(1) Sur la figure 1 les angles α et β ont été construits en portant des vecteurs proportionnels à R_2 et R'_2 en OA et OA' et par A et A' des vecteurs perpendiculaires à l'axe des courants actifs en AB et A'B' et respectivement égaux à $L_2\,\Omega$ et $L'_2\,\Omega$. L'angle α est ainsi l'angle que forme OB avec Ox et l'angle β, celui de OB' avec Ox.

On obtient ainsi $OC = \tau I_2$ et $OC' = \tau I'_2$ dont la résultante $OD = \tau I_r$. En ajoutant $OO' = I_\mu$ on obtient en O'D le courant statorique I_1.

Pour un glissement quelconque, on procédera de la même façon en ayant soin de réduire OM, OM', AB et A'B' dans le rapport de γ_1.

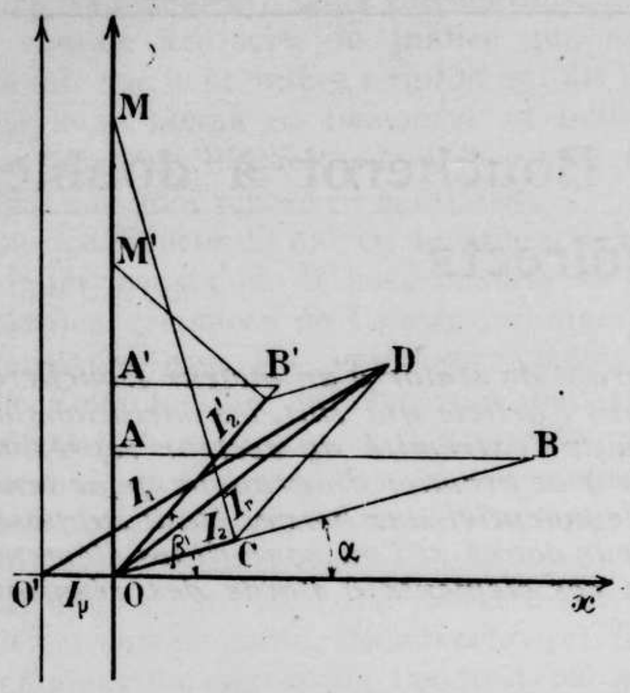


Fig. 1. — Diagramme des courants du moteur Boucherot à double cage sous tension constante, l'impédance du stator étant négligée.

Le lieu des extrémités D des courants statoriques est le diagramme cherché.

II. **Correction à apporter à la construction de principe.** — Pour tenir compte de l'impédance du stator, il faut corriger le diagramme précédent. Soit un courant $I_1 = O'D$; à ce courant correspond une chute de tension $Z_1 I_1$ que nous portons à la suite de $E_1 = U$ (fig. 2) déphasée de l'angle ψ_1 en avant de I_1. On obtient ainsi une tension U_1 qui est plus grande que U et déphasée de celle-ci de l'angle θ.

La correction consisterait donc à réduire I_1 dans le rapport de $\frac{U}{U_1}$ et de décaler le vecteur représentatif de l'angle θ en arrière de sa position actuelle.

Cette correction peut se faire facilement en portant $\frac{U}{Z_1}$ en O'A ; AD représenterait $\frac{U_1}{Z_1}$ et l'on a

$$\frac{AO'}{AD} = \frac{AK}{AD} = \frac{U}{U_1}.$$

Il suffit de tracer KD' parallèlement à AO' pour trouver en O'D' le courant corrigé en grandeur, soit

$$I'_1 = O'D \times \frac{AO'}{AD} = I_1 \frac{U}{U_1}.$$

En faisant tourner ce vecteur de l'angle θ, celui-ci vient en D" et O'D" représente le courant exact.

On démontre que le point D_1, inverse de D par rapport à l'origine, décrit la courbe corrigée en sens inverse du sens de déplacement de D sur le diagramme primitif, à condition de prendre comme axe des courants actifs un axe déphasé de $2\left(\frac{\pi}{2} - \psi_1\right)$ en avant de l'axe primitif, le pôle d'inversion étant A et la puissance d'inversion (1)

$$p = \frac{U^2}{Z_1^2}.$$

En outre, les points D" et D_1 sont symétriques par

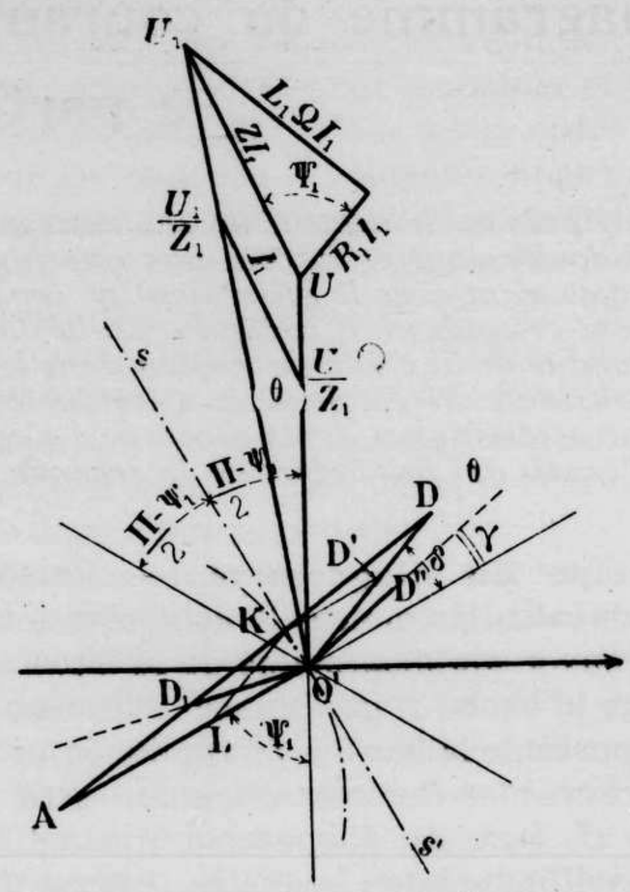


Fig. 2. — Diagramme du courant statorique du moteur Boucherot à double cage, établi en tenant compte de l'impédance du stator.

rapport à une droite ss' perpendiculaire à O'A et passant par O'.

(1) Traçons KL parallèle à O'D (fig. 2) ; nous formons ainsi le triangle AKL et l'on peut écrire

$$KL = O'D' = O'D \times \frac{AK}{AD}$$

$$KL = O'D \times \frac{U}{U_1}.$$

Faisons prendre au triangle AKL la position symétrique $AO'D_1$ et déterminons la valeur de AD_1 qui est intéressante,

$$AD_1 = AL = AO' \times \frac{AK}{AD} = \frac{U}{Z_1} \times \frac{\frac{U}{Z_1}}{AD}$$

d'où :

$$AD_1 \times AD = \frac{U^2}{Z_1^2} = \text{constante}.$$

Le segment $O'D_1$ est donc l'inverse de O'D, le pôle d'inversion étant A et la puissance d'inversion, $p = \frac{U^2}{Z_1^2}$. D'autre part, $O'D_1 = O'D' = O'D''$. L'angle $D''O'D' = \theta$ par définition ; d'où $\gamma = \delta - \theta$, mais l'angle $D_1O'A$ est égal à l'angle LKA et l'angle KLO' est égal à δ ; dans le triangle AKL on a

$$\text{angle AKL} = \delta - \theta = \gamma;$$

D_1O' et D"O' sont donc symétriques par rapport à la perpendiculaire ss' à AO'. Voir aussi V. Genbin ; Note sur la construction du diagramme circulaire rigoureux des moteurs polyphasés. *Revue générale de l'Electricité*, 23 octobre 1920, t. VIII, p. 579-580.

La correction de tous les points tels que D se fera donc en déterminant pour chacun d'eux le point inverse D_1, d'où D'' par symétrie.

Le diagramme primitif (fig. 3, courbe a) prend, après correction, la forme de la courbe b de la même figure.

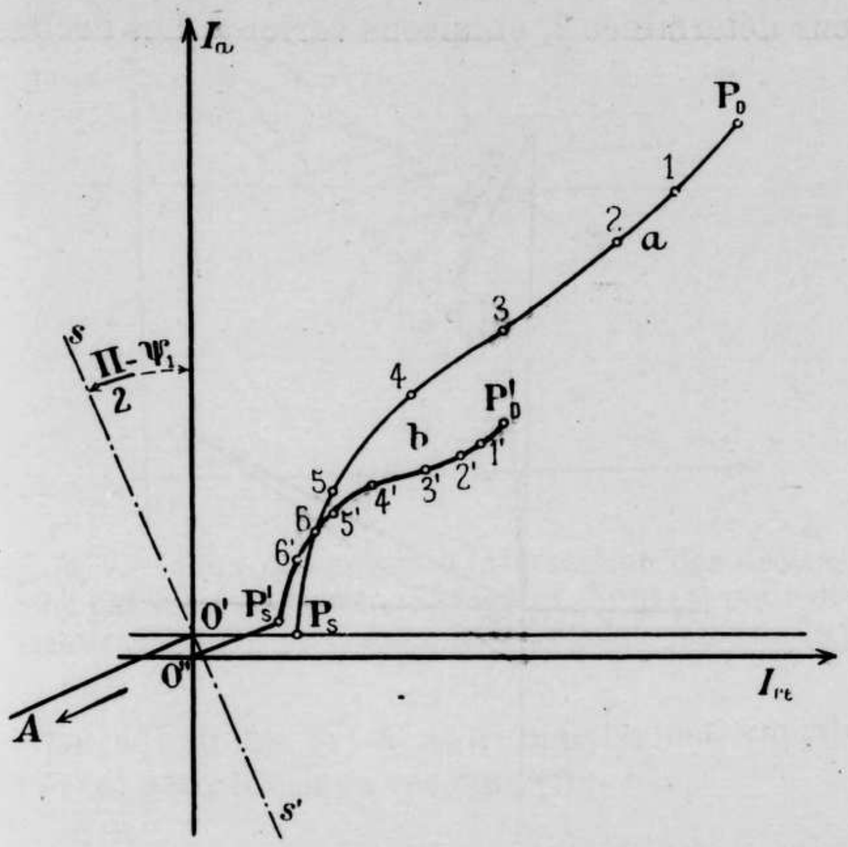


Fig. 3. — Lieux géométriques de l'extrémité du vecteur représentant le courant : a, l'impédance du stator étant négligée ; b, l'impédance du stator n'étant plus négligée.

Pour tenir compte des pertes dans le fer il faut ajouter en $O'O''$ le courant actif correspondant à ces pertes. Tous les courants se mesureront donc à partir de la nouvelle origine O''.

Lorsqu'on retranche de tous les points du diagramme le courant actif correspondant aux pertes dans le stator (pertes par effet Joule et pertes dans le fer), on

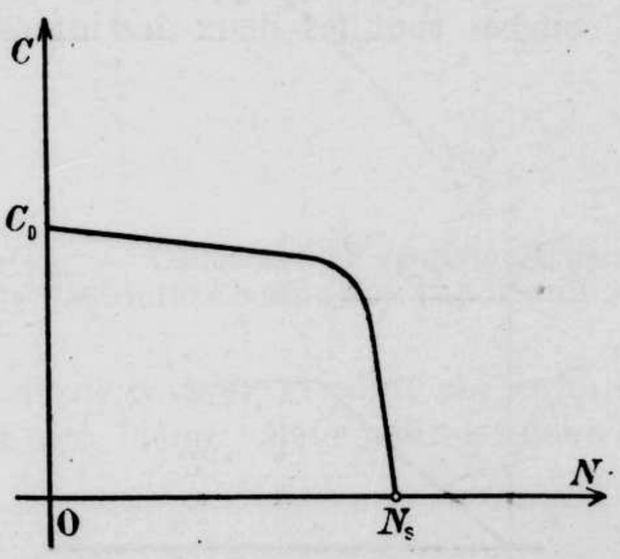


Fig. 4. — Courbe des variations du couple en fonction de la vitesse.

obtient la courbe du couple. La figure 4 montre l'allure de la courbe du couple en fonction de la vitesse.

L'examen de ces courbes nous permet de retrouver certaines qualités de ce moteur : très fort couple au démarrage, généralement 1,6 à 1,8 fois le couple normal avec un courant absorbé d'environ trois fois le courant normal lorsque le moteur est alimenté sous tension normale ; ce couple reste sensiblement constant aux forts glissements pour diminuer ensuite à peu près linéairement jusqu'à zéro pour un glissement égal à zéro. On voit que ce moteur ne peut se décrocher.

III. **Tracé du diagramme du moteur à partir de résultats d'essais.** — Le diagramme peut se déterminer si l'on connaît α, β,

$$OM = \frac{\tau^2 E_1}{R_2},$$

que nous désignerons par le symbole x (fig. 1), et

$$OM' = \frac{\tau^2 E_1}{R'_2}$$

que nous appellerons y, I_μ, R_1 et $L_1\,\Omega$. La valeur de R_1 peut se mesurer facilement. On peut obtenir une valeur approchée de $L_1\,\Omega$ en enlevant le rotor et en alimentant le stator sous une tension réduite U', juste suffisante pour produire le courant normal I (1) On a

$$U' = I\sqrt{R_1^2 + (L_1\Omega)^2}\,;$$

R_1 étant connu, on en déduit $L_1\,\Omega$. Ce n'est autre chose que l'application de la méthode de Joubert. Rappelons que ce procédé s'applique également aux alternateurs et permet de déterminer le coefficient λ qui entre dans le diagramme de Potier.

En ce qui concerne le courant I_μ on connaît facilement le courant absorbé à vide I_0 dont la composante réactive est précisément I_μ. Il reste donc quatre inconnues α, β, x et y ; il faudra donc quatre relations indépendantes entre ces quatre grandeurs.

A cet effet nous allons faire deux essais avec rotor bloqué, mais à différentes fréquences, de préférence aux fréquences f et $\frac{f}{2}$. Nous réduirons également la tension aux bornes de moitié pour avoir sensiblement la même induction à la fréquence $\frac{f}{2}$.

Si nous réduisons la fréquence f de moitié, les grandeurs x, y et celles représentées par AB et A'B' doivent

(1) La valeur de la réactance de fuites statoriques qu'on obtient ainsi est trop faible étant donné qu'en enlevant le rotor on remplace la réluctance des dents du rotor entrant dans le circuit de fuites statoriques par la réluctance de l'air. Nous ne voyons pas un autre moyen plus exact de séparer cette grandeur. L'erreur qui en résulte se compense dans une certaine mesure du fait suivant : les valeurs de α, β, x et y qu'on trouve sont faussées du fait que la valeur de $L_1\,\Omega$ est trop faible ; mais si on partait de ces mêmes valeurs pour reconstruire les points D et D' (fig. 5) desquels on est parti, on les retrouverait exactement. L'erreur qui affecte ces quatre coefficients est de sens contraire à l'erreur qu'ils introduisent au moment de la construction du diagramme. Pour les points mesurés D et D', ces deux erreurs se compensent ; pour tout autre point du diagramme l'importance de l'erreur se trouvera réduite de ce fait.

être réduites de moitié (fig. 5). En faisant la même construction pour chacune de ces fréquences on obtient OD comme précédemment pour la fréquence f et OD′ pour la fréquence $\frac{f}{2}$, les deux courants dans les cages formant respectivement les angles α' et β' avec l'axe des cou-

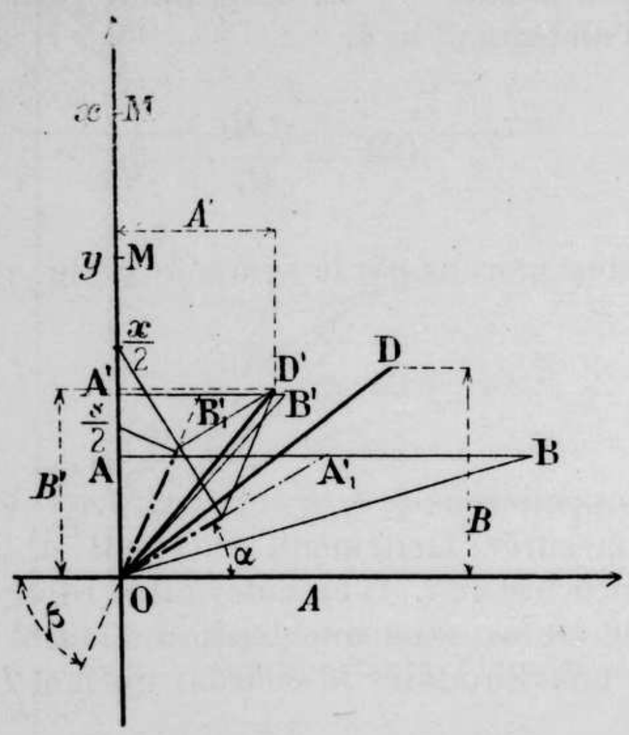


Fig. 5. — Représentation graphique des grandeurs x, y, A, B, A', B' définies par les équations (1) à (4).

rants réactifs et l'on déduit ces grandeurs A B, A′ B′ des figures 1 et 5.

On pose

$$A = x \sin \alpha \cos \alpha + y \sin \beta \cos \beta \qquad (1)$$

$$B = x \sin^2 \alpha + y \sin^2 \beta \qquad (2)$$

$$A' = \frac{x}{2} \sin \alpha' \cos \alpha' + \frac{y}{2} \sin \beta' \cos \beta' \qquad (3)$$

$$B' = \frac{x}{2} \sin^2 \alpha' + \frac{y}{2} \sin^2 \beta' \qquad (4)$$

$$\text{avec } \operatorname{tg} \beta' = 2 \operatorname{tg} \beta \text{ et } \operatorname{tg} \alpha' = 2 \operatorname{tg} \alpha. \qquad (5)$$

Avant de passer à la résolution de ce système d'équations nous devons tenir compte de ce que nos mesures se font avec impédance statorique en circuit et, en outre, le courant que nous mesurons englobe le courant à vide.

Nous connaissons R_1, $L_1\,\Omega$, I_0 et φ_0 par les essais faits, en retranchant $L_1 \Omega I_1$ de U et I_0 de I_1 (fig. 6) nous obtenons I_r rapporté au stator et l'angle φ_1 que nous porterons sur la figure 7, d'où A et B.

Nous procéderons d'une façon analogue pour la fréquence $\frac{f}{2}$. Là il se peut que la force électromotrice E'_1, que nous obtiendrons par une construction analogue à celle de la figure 6, ne soit pas égale à $\frac{E_1}{2}$; dans ce cas le courant I'_r est à multiplier par $\frac{E_1}{2E'_1}$; l'angle φ'_1 ne change pas. On a ainsi A' et B'.

Avec ces données nous pouvons passer à la résolution des quatre équations (1) à (4).

Considérons (1) et (2) ; nous prendrons x et y comme variables et α et β comme paramètres. Les équations (1) et (2) représentent alors deux droites dont la position dans le plan dépend de α et β. Donnons à β une valeur déterminée β_1 et faisons varier α. Les droites (1)

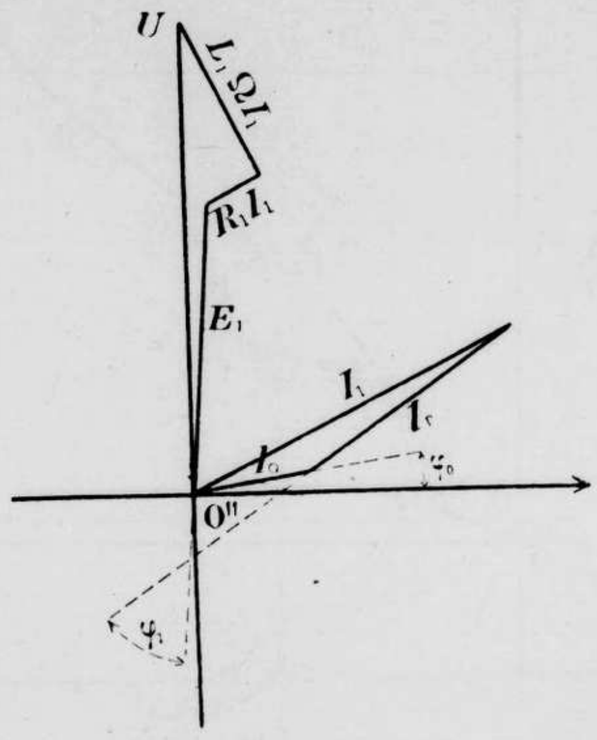


Fig. 6. — Construction graphique permettant de déterminer I_r.

et (2) se couperont en des points qui seront situés sur une courbe, par exemple β_1 (fig. 8). Si nous donnons à β une deuxième valeur β_2, nous obtiendrons une deuxième courbe β_2, etc. Inversement, si nous nous fixons un point quelconque sur l'une des courbes nous pourrons déterminer la valeur correspondante de α.

Traçons maintenant sur le même graphique le réseau des courbes construites en supposant β constant; ces nouvelles courbes sont les lieux des intersections de

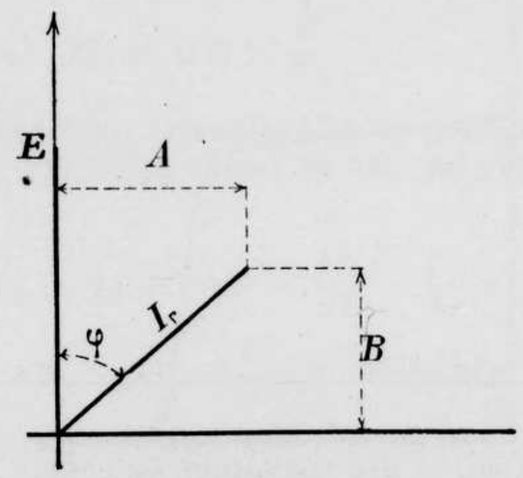


Fig. 7. — Construction graphique permettant de déterminer A et B.

droites représentées par (3) et (4). Ici nous devons tenir compte de la relation (5) puisque (3) et (4) ne contiennent pas d'une façon explicite les fonctions trigonométriques de α et β.

Le lieu C des points d'intersection des courbes correspondant à la même valeur de β dans les deux réseaux

de courbes est particulièrement intéressant. Sur cette courbe les valeurs de x, y et β sont les mêmes dans les

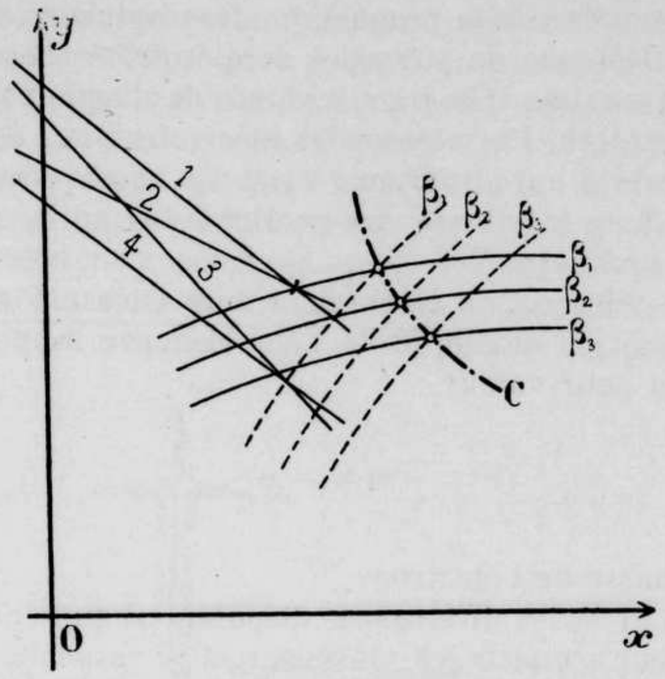


Fig. 8. — Lieux des points d'intersection des droites définies par les équations (1) et (2) et (3) et (4) pour diverses valeurs de β (β_1, β_2..) et courbe d'égales valeurs de β.

quatre équations (1) à (4), mais α est variable et différent pour les deux réseaux (fig. 8).

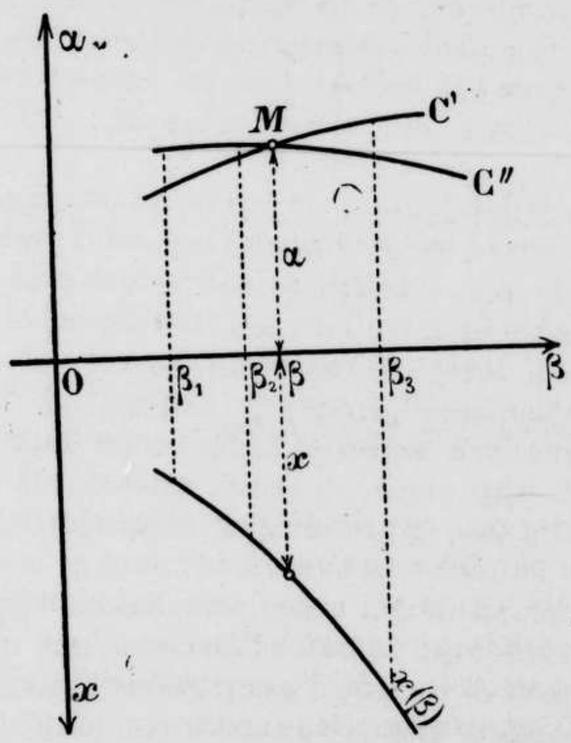


Fig. 9. — Construction graphique permettant de déterminer α et β, d'où l'on déduit x et y.

Il s'agit de trouver le point sur cette courbe pour lequel α a la même valeur pour les deux faisceaux de droites (1) et (2), d'une part, et (3) et (4), d'autre part. Pour cela prenons les points sur cette courbe dont les valeurs de β sont connues et cherchons les valeurs correspondantes de α pour chacun des faisceaux (1) et (2) et (3) et (4).

En portant sur un graphique (fig. 9) les α en ordonnées et les β en abscisses, on obtient pour les deux faisceaux les deux courbes C′ et C″ dont l'intersection fixe les valeurs de α et β. La valeur de x correspondante s'obtient en traçant la courbe représentant x en fonction de β et en y portant la valeur de β trouvée. La valeur de x ainsi déterminée donne celle de y sur la courbe C (fig. 8), d'où la solution complète: x, y, α, β sont déterminés.

Avec ces grandeurs on pourra tracer par points le diagramme du moteur comme il a été indiqué au début de cet article.

Dans le tableau I nous donnons les valeurs des fonctions trigonométriques intervenant dans les quatre équations en tenant compte de la relation (5). Les angles α et α' seraient à remplacer par β et β' pour le calcul des facteurs des y.

TABLEAU I. — *Valeurs des fonctions trigonométriques intervenant dans les équations* (1) *à* (5).

α^o	$\sin^2\alpha$	$\sin\alpha\cos\alpha$	$\sin^2\alpha'$	$\cos^2\alpha'$	$\sin\alpha'\cos\alpha'$
10	0,03	0,17	0,11	0,81	0,31
15	0,07	0,25	0,22	0,78	0,42
20	0,12	0,32	0,35	0,65	0,48
25	0,18	0,38	0,51	0,54	0,50
30	0,25	0,43	0,58	0,43	0,50
35	0,33	0,47	0,66	0,34	0,48
40	0,41	0,49	0,74	0,26	0,44
45	0,50	0,50	0,80	0,20	0,40
50	0,59	0,49	0,85	0,15	0,36
55	0,67	0,47	0,89	0,11	0,31
60	0,75	0,43	0,93	0,08	0,27
65	0,82	0,38	0,95	0,05	0,22
70	0,88	0,32	0,97	0,03	0,18
75	0,93	0,25	0,98	0,02	0,13
80	0,97	0,17	0,99	0,007	0,09
85	0,99	0,08	1	0,002	0,04

E. SCHWARZKOPF,
Ingénieur I. E. G.

Revues, analyses et informations

La capture d'électrons par des particules α (1).

Dans un précédent mémoire (2), B. Davis et A.-H Barnes décrivent une expérience qui montre qu'un électron ne peut être capturé par une particule α que pour une valeur déterminée de la vitesse relative. Ils montrent que la série des valeurs de l'énergie associées à ces vitesses correspond aux niveaux d'énergie de l'atome d'hélium ionisé.

Le présent travail donne les détails relatifs à cette expérience et quelques nouveaux résultats obtenus avec un dispositif expérimental, plus perfectionné.

1. PREMIER TUBE UTILISÉ DANS LES EXPÉRIENCES. — La figure 1 montre la disposition du premier tube employé. La source

(1) H. BARNES. *The physical Review*, 1er février 1930 t. XXXV, (2e série), p. 217-228, 2 500 mots, 10 figures.

(2) B. DAVIS et A.-H. BARNES. *The physical Review*, 1er juillet 1929, t. XXXIV (2e série), p. 152-156; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 30 novembre 1929, t. XXVI, p. 185 D.

de particules α est une trace de polonium déposée sur une pointe de cuivre placée en S.

Les particules α pénètrent dans le tube par une mince fenêtre de verre W, de 5 μ d'épaisseur. Après avoir traversé le tube, la particule α en sort par une autre fenêtre de verre Y, ou par une troisième fenêtre Z, si un champ

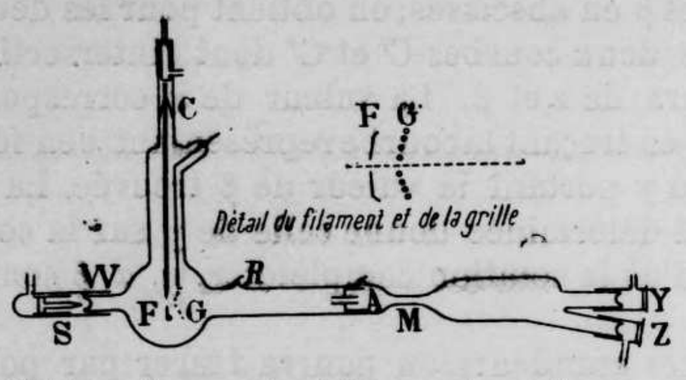


Fig. 1. — Schéma du premier tube ayant servi aux expériences.

magnétique, appliqué en M, lui donne la déviation voulue. Ces deux dernières fenêtres ont une épaisseur de 10 μ. A l'extérieur des fenêtres Y et Z sont disposés des écrans en sulfure de zinc; d'autre part, des écrans de feuille d'aluminium épaisse de 4 μ sont placés devant chaque écran pour le protéger contre la lumière du filament. Le vide existe dans les espaces compris entre chaque écran et la fenêtre correspondante, et de même entre la source et sa fenêtre.

La source d'électrons est un gros filament recouvert d'oxyde, F, de 2,5 cm², légèrement concave. Un trou de 0,5 cm de diamètre livre passage aux particules α.

Le courant nécessaire au chauffage du filament a une intensité d'environ 150 A; il pénètre dans le tube par un joint C refroidi par l'eau.

La première anode ou grille G est placée à 1 cm du filament et affecte la forme d'une spirale conique constituée par du fil de tungstène. La deuxième anode A est un cylindre de nickel de 0,5 cm de diamètre et 3 cm de longueur, disposé à 18 cm de la grille.

La paroi de verre est argentée à l'intérieur, et cette couche conductrice est reliée au sol, pour empêcher l'accumulation des charges sur les parois. Toutes les parties métalliques ont été dégazées au four électrique dans le vide, avant d'être mises en place dans le tube. Ce dernier est scellé, après y avoir fait le vide.

Les électrons quittant le filament sont accélérés, à toute vitesse désirée, grâce au potentiel appliqué à la grille. En raison de la forme de la grille et du filament, les électrons qui traversent la grille convergent et cheminent suivant l'axe du tube, vers l'anode A. Les particules α ne rencontrent une grande densité électronique qu'au point de convergence du faisceau d'électrons. Si un électron est capturé en ce point, la particule α arrivera dans le champ magnétique M avec une diminution de sa charge et, en conséquence, ne sera pas déviée vers l'écran inférieur Z. La diminution du nombre de scintillations observées en Z déterminera, par suite, le nombre de captures.

2. Résultats obtenus avec le premier tube. — L'intensité du champ magnétique est réglée jusqu'à ce que les particules α soient déviées vers l'écran inférieur Z. On fait alors varier par petits sauts les potentiels appliqués à la grille G et au filament et l'on détermine les changements correspondants dans le nombre de particules α arrivant en Z. Durant la plupart des expériences, le courant parvenant à G était de 60 mA et à A de 0,08 mA.

On trouve, dans ces conditions, que la capture a lieu quand la vitesse de l'électron est égale à celle de la particule α, et aussi pour une suite de vitesses électroniques déterminées, plus grandes ou moindres que celles de la particule α. La courbe qui représente la proportion des captures en fonction de la différence de potentiel accélératrice consiste en une série de maxima très aigus groupés de chaque côté d'un maximum central. La vitesse des électrons pour ce maximum est égale à $1{,}44\ 10^9$ cm : s; et ce nombre concorde exactement avec la vitesse des particules α, après qu'elles ont franchi la fenêtre W.

Si v est la vitesse d'un électron et u, le vitesse d'une particule α, l'énergie cinétique de l'électron par rapport à la particule α a pour valeur

$$w = \frac{1}{2} m (v - u)^2,$$

m étant la masse de l'électron.

Soient V_n et V_0 les différences de potentiel que doit subir l'électron pour acquérir les vitesses v et u, respectivement; on aura

$$e V_n = \frac{1}{2} m v^2$$

et

$$v = \left[\frac{2 e V_n}{m}\right]^{1/2}.$$

De même

$$u = \left[\frac{2 e V_0}{m}\right]^{1/2}$$

et

$$w = \frac{1}{2} m \left[\frac{2e}{m} V_n - \frac{4e}{m} V_n^{1/2} V_0^{1/2} + \frac{2e}{m} V_0\right]$$
$$= e[V_n^{1/2} - V_0^{1/2}]^2$$

ou

$$\frac{w}{e} = [V_n^{1/2} - V_0^{1/2}]^2 = E_n,$$

E_n étant l'énergie, exprimée par le produit de la charge d'un électron par des volts.

Si dans cette équation nous remplaçons V_0 par la différence de potentiel qui donne à l'électron une vitesse égale à celle de la particule α et V_n par les différences de potentiel successives auxquelles correspondent les maxima observés, l'on arrive à une suite de valeurs de l'énergie qui correspondent aux niveaux d'énergie de l'atome d'hélium ionisé.

Ainsi, il apparaît que la probabilité de capture d'un électron par une particule α n'est élevée que si l'énergie cinétique de l'électron, dans son mouvement par rapport à la particule α, est ou nulle, ou égale à l'énergie de l'un des états quantiques de l'atome d'hélium ionisé. Il est à noter que l'énergie cinétique dont il est ici question est seulement celle due au champ appliqué.

3. Second tube utilisé dans les expériences. — Le second tube a été construit pour répondre aux quatre buts suivants :

1° Réduction de la durée du passage d'une particule α à travers le faisceau d'électrons;

2° Mise en évidence de scintillations dues à des particules portant une seule charge électronique ou neutres;

3° Recherche de l'effet des variations de vitesse de la particule α;

4° Etude des intervalles sans capture situés de part et d'autre du maximum axial.

La figure 2 représente le tube construit à cet effet. La source d'électrons est un filament recouvert d'oxyde, ayant la forme d'un disque plat portant en son centre une ouverture circulaire de 4 mm de diamètre pour permettre le passage des particules α. A 2 mm en avant du filament est placée une plaque, portant un trou de 0,5 mm de diamètre exactement opposé à l'ouverture circulaire du filament. Un fil de tungstène recourbé à angle droit est disposé de façon que l'un des côtés de l'angle droit occupe l'axe du tube et se termine à 1 mm du plan de la plaque. La portion axiale

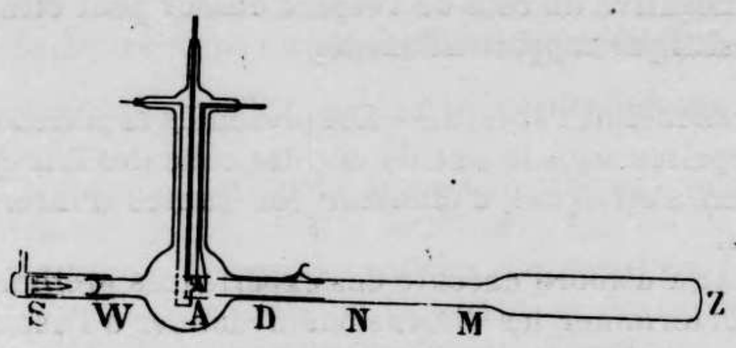


Fig. 2. — Schéma du second tube.

du fil est entourée par un cylindre de 0,5 cm de diamètre et de 0,5 cm de longueur. Tous ces organes sont réunis en A sur la figure. Un second cylindre D coaxial avec le premier, ayant 2 cm de diamètre et 10 cm de longueur, est placé à 1 cm du premier. Le système forme un tout rigide et les diverses parties en sont isolées les unes des autres, et peuvent être connectées avec des circuits extérieurs séparés.

On peut appliquer en M un champ magnétique perpendiculaire à l'axe du tube, qui fera dévier les particules α à deux charges, qui fera moins dévier celles à une charge, et qui ne fera pas dévier du tout les particules neutres.

Dn sulfure de zinc est placé sur la paroi interne aplatie du tube, en Z. La fenêtre servant à l'admission des particules α a presque exactement la même épaisseur que celle utilisée pour le premier tube, de sorte que dans chaque tube la vitesse des particules α est à peu près la même. Après montage, le tube est évacué et scellé.

Si tout l'assemblage anodique, formé de la plaque, du petit cylindre, du fil de tungstène et du cylindre D, est au même potentiel, les électrons quittant le filament seront accélérés par le champ existant entre le filament et le système formé par la plaque et le fil. Quelques-uns passeront entre le fil et le petit cylindre et pourront parvenir au cylindre D. Si au contraire le petit cylindre est porté au potentiel du filament, le champ existant entre lui et le fil de tungstène sera suffisant pour dévier vers le fil tous les électrons qui franchissent la plaque. La longueur du trajet que les électrons peuvent ainsi parcourir se trouve dès lors limitée. De plus, les électrons atteignant le fil de tungstène croisent les trajectoires des particules α.

4. Résultats obtenus avec le second tube. — On a d'abord essayé l'effet, sur la capture, de divers arrangements du système anodique. En premier lieu, la plaque, le fil et les cylindres sont portés au même potentiel, et l'on détermine la proportion d'électrons capturés. Puis, les deux cylindres sont portés au potentiel du filament : on trouve alors que la proportion des captures reste pratiquement inaltérée.

Dans les dernières conditions, la plus grande longueur possible du parcours des électrons était d'environ 5 mm et comme la vitesse des particules α, lorsqu'elles traversent cette région, est de $1{,}45 \times 10^9$ cm, il en résulte que la capture d'un électron s'accomplit en moins de 3×10^{-10} s.

Dans ce second tube, on peut observer des scintillations dues aux particules à une seule charge électronique et celles dues aux particules neutres. Il est donc possible de compter l'accroissement du nombre de scintillations dues aux particules α ayant capturé un électron et qui, par suite, en présence du champ magnétique, frappent l'écran en un point situé à mi-chemin entre le centre et le bord. On a aussi découvert que, pour certains potentiels, il y a production de particules neutres. Naturellement, elles ne sont pas déviées par le champ magnétique et elles parviennent au centre de l'écran.

En observant ce point de l'écran, on a constaté qu'il existe toute une série de différences de potentiel pour lesquelles ces particules neutres, résultant de la capture de deux électrons, apparaissent. Il existe aussi une série indépendante de valeurs de la différence de potentiel appliquée pour lesquelles se produit la capture d'un seul électron. Avec le premier tube il n'était pas possible de séparer ces deux types de capture, puisque l'on n'y pouvait observer qu'une décroissance du nombre des scintillations, et par suite quelques maxima attribués à la capture d'un seul électron résultaient en réalité d'une double capture.

Le caractère le plus frappant des courbes ainsi obtenues est que leurs maxima se présentent comme des sommets très aigus. Ceci indique que la capture se produit en un point où les électrons se déplacent avec une vitesse très uniforme, tant en grandeur qu'en direction. La vitesse électronique en ce point sera en général un peu moindre que celle qui correspond au potentiel de l'anode. La différence de potentiel appliquée au tube n'indiquera pas, par suite, la vitesse vraie au point de la capture, ce qui introduit une erreur dans la localisation des sommets et, par conséquent, dans les valeurs correspondantes de l'énergie.

Sous cette réserve, les résultats des mesures relatives à la capture d'un électron confirment ceux indiqués plus haut.

En ce qui concerne les captures doubles, on constate un fait analogue vis-à-vis de l'atome neutre d'hélium : il paraît tout à fait probable que les valeurs des différences de potentiel pour lesquelles la double capture se produit forment une double série, qui correspond aux niveaux d'énergie successifs des atomes du type parhélium et du type orthohélium.

5. Conclusion. — Ainsi, dans le type de recombinaison qui intervient dans ces expériences fort intéressantes, au moment de sa capture, l'électron possède par rapport à la particule une énergie cinétique, due au champ appliqué, égale à celle du niveau d'énergie auquel il est capturé. Autrement dit, pour que la capture se produise, il faut que l'électron possède, par suite du champ extérieur, une énergie cinétique qui, par rapport au noyau, soit nulle ou égale à l'énergie de l'un des états quantiques de l'atome.

On a vu, d'autre part, que la capture se produit en moins de 3×10^{-10} s, et cela, dans une région où la densité électronique est probablement inférieure à 10^7 électrons par centimètre cube. La capture semble donc mettre en jeu un mécanisme extrêmement rapide et se manifestant dans une région de l'espace assez étendue, lorsque la condition d'énergie est satisfaite.

Quand cette condition n'est pas satisfaite, ou bien le mécanisme de capture ne fonctionne pas, ou bien il opère de telle sorte que la probabilité de capture soit relativement très petite. On peut exprimer ces faits en admettant

que, dans certaines conditions énergétiques, le rayon effectif d'action mutuelle de l'électron et du noyau est relativement très grand, et qu'il devient au contraire très petit dans d'autres conditions. — L. B.

Sur l'espace obscur cathodique dans la décharge cathodique de Geissler (1).

1. Premières recherches sur l'espace obscur. — Il semble bien que c'est à Aston (1911) que sont dues les premières recherches sérieuses sur l'espace obscur de Crookes. En se plaçant dans le cas où la pression est assez basse pour que la colonne positive et l'espace obscur de Faraday aient disparu, cet auteur a montré que dans une telle décharge la chute de potentiel le long du tube devait être entièrement localisée dans l'espace obscur cathodique, la lueur négative étant entièrement au potentiel de l'anode. Dans un autre mémoire, le même auteur a étudié les relations existant entre la densité de courant, la différence de potentiel entre les limites de l'espace obscur de Crookes ou entre les électrodes, la longueur de l'espace obscur et la pression du gaz dans le tube à décharge. Il a trouvé que les gaz actifs obéissent, avec une précision satisfaisante, aux équations empiriques

$$D = \frac{A}{P} + \frac{B}{C^{\frac{1}{2}}}, \qquad (1)$$

$$V = E + \frac{FC^{\frac{1}{2}}}{P}, \qquad (2)$$

où D est la longueur de l'espace obscur cathodique, V, la différence de potentiel entre les électrodes, C, la densité de courant, P, la pression du gaz, A, B, E, F, des constantes. Dans le cas des gaz inertes, on obtient des résultats un peu différents, représentés par

$$V - G = KDC^{\frac{1}{2}}, \qquad (3)$$

où G et K sont des constantes.

2. Conceptions modernes de l'espace cathodique. — A la lumière des idées modernes sur les charges spatiales et le passage du courant à travers des nappes d ions, l'espace obscur cathodique a pris une nouvelle signification. Langmuir a montré qu'une sonde introduite dans le gaz parcouru par la décharge, s'entoure d'une nappe d'électrons ou d'ions positifs, selon qu'elle est à un potentiel positif ou négatif par rapport, à l'espace environnant. La différence de potentiel entre la sonde et l'espace qui l'entoure est localisée dans cette nappe, comme cela se produit, ainsi qu'il a été vu plus haut, pour l'espace obscur cathodique. Ryde a tenté de démontrer que l'espace obscur cathodique consiste en effet en une nappe d'ions positifs, dont la charge spatiale limite le courant traversant le tube. Si l'on considère une source plane émettant des ions de vitesse nulle, accélérés par une différence de potentiel V vers un collecteur plan et parallèle à la source, situé à une distance d de celle-ci, le courant résultant aura pour densité, d'après Langmuir,

$$C = \frac{LV^{\frac{3}{2}}}{d^2}, \qquad (4)$$

où L est une constante qui dépend de la charge et de la masse des ions. Si l'on suppose avec Ryde que le cas précédent et celui de l'espace obscur cathodique sont identiques, l'on aboutit à un résultat en complet désaccord avec les résultats expérimentaux d'Aston.

On a pensé que ce désaccord pouvait être plus apparent que réel, en partie parce que l'anneau de garde dont Aston entourait la cathode de son tube n'était pas assez grand, en partie aussi du fait que la différence de potentiel appliquée au tube ne coïnciderait pas avec la différence de potentiel entre les frontières de l'espace obscur de Crookes. Emeléus et Harris ont trouvé, en effet, que le potentiel de la limite de la lueur négative du côté de l'espace obscur peut être négatif ou positif par rapport à l'anode.

3. Expérience de l'auteur. — Les présentes expériences ont été entreprises dans le but de décider celle des lois qui est exacte, en s'efforçant d'éliminer les causes d'incertitude précitées.

L'auteur a d'abord exécuté des expériences préliminaires afin de déterminer les dimensions à donner à l'anneau de garde, pour qu'il remplisse complètement son rôle. Au cours de ces premières mesures, il a obtenu, chemin faisant, des résultats relatifs à la variation du courant avec la différence de potentiel appliquée à l'espace obscur, et qui sont de la forme de l'équation (3) due à Aston.

Le tube à décharge définitif comporte un système anode et cathode rigidement liées et pouvant se déplacer en bloc, sans supprimer les connexions, par rapport à une sonde fixe, formée par un mince fil métallique isolé. On peut ainsi explorer facilement tout l'espace compris entre les électrodes.

4. Théorie de la méthode. — Voici le principe de la théorie servant de base à la méthode employée. On peut admettre que, dans toute région du tube, l'énergie de la décharge se répartit entre les ions et électrons selon la loi de Maxwell-Boltzmann, correspondant à un potentiel spatial V_s par rapport à l'anode. Si l'on introduit une sonde dans cette région et qu'on la maintienne à un potentiel V par rapport à l'anode, un courant arrivera à la sonde et sera fonction de V. Comme la mobilité des électrons est beaucoup plus grande que celle des ions positifs, la condition $V = V_s$ n'est pas satisfaite en général quand le courant qui parvient à la sonde est nul. Si l'on fait varier V, on obtient, en effet, une caractéristique qui se divise en trois parties. Quand la sonde est à un potentiel négatif très élevé par rapport à l'espace environnant, le courant est transporté par les ions positifs seuls. Quand la sonde est à un potentiel faiblement négatif, des ions positifs s'y rendent encore, mais en outre, les électrons les plus rapides ne sont plus assez retardés pour être empêchés d'apporter leur contribution au courant total. Lorsque V tend vers V_s, le courant d'ions positifs devient négligeable par rapport au courant d'électrons. Enfin, quand V est supérieur à V_s, les électrons sont accélérés et le courant devient si intense que la distribution de la décharge en est affectée et que la répartition de l'énergie cesse d'être maxwellienne.

Si i_+ est l'intensité du courant dû aux ions positifs accélérés, la première partie de la courbe est de la forme

$$i^2_+ = 1 + \frac{Ve}{kT} \qquad (5)$$

où e est la charge de l'ion, k, la constante de Boltzmann, T, la température correspondant à l'énergie des ions. La droite

(1) E.-C. Childs. *The philosophical Magazine*, avril 1930, t. IX (7e série), p. 529-546, 4 200 mots, 7 figures.

qui représente l'équation (5) peut servir à corriger, par extrapolation, les indications qui correspondent à la seconde partie de la caractéristique.

D'autre part, le courant d'électrons retardés varie avec V selon la loi

$$i_- = IA\,e^{\frac{(V-V_s)e}{kT}} \qquad (6)$$

où I est la densité du courant électronique dans la décharge, et A, l'aire de la sonde. On tire de (6)

$$\log_e i = \frac{(V-V_s)e}{kT} + \text{constante}, \qquad (7)$$

et la courbe correspondante sera une droite de perte $\frac{e}{kT}$. Dans les formules (6) et (7), e représente, naturellement, la charge de l'électron.

La troisième partie de la caractéristique, relative aux électrons accélérés, obéit à nouveau à une loi de la forme (5). En conséquence, la courbe obtenue en portant en abscisses les potentiels de la sonde et en ordonnées les logarithmes de l'intensité du courant d'électrons (corrigée), s'écarte d'une droite à partir de $V = V_s$. Et cela constitue un procédé très commode, employé dans les expériences ici décrites, pour trouver le potentiel spatial au niveau de la frontière anodique de l'espace obscur cathodique; l'on en déduit aisément la différence de potentiel qui existe entre les deux frontières de l'espace obscur, connaissant la différence de potentiel appliquée au tube.

Le gaz étudié est le néon, pour lequel la limite anodique de l'espace obscur se laisse déterminer avec une précision satisfaisante.

5. Résultats. — Un premier résultat est que la différence de potentiel entre les frontières de l'espace obscur est légèrement supérieur (de 3/100 dans ces expériences) à celle appliquée au tube. Mais ce fait n'introduit dans les résultats d'Aston qu'une erreur assez faible.

Quant à l'équation (3), elle est très exactement vérifiée par les présentes expériences et la constante G est égale à 113 v. Ce nombre surpasse d'environ 25 v la valeur d'Aston, mais le désaccord est sans doute dû à la correction de potentiel introduite par l'auteur.

Ainsi, le résultat expérimental est tout à fait en faveur de la loi d'Aston, et à l'encontre de la loi des charges spatiales de Langmuir. Ce résultat n'a rien de surprenant, car la théorie des charges spatiales a été édifiée pour le cas des émissions d'électrons dans un vide élevé, sans qu'il y ait à tenir compte de chocs entre les électrons et les molécules gazeuses ; McCurdy a étendu cette théorie simple au cas extrême d'électrons subissant assez de chocs pour atteindre une vitesse limite. L'intensité du courant est encore dans ce cas proportionnelle à $V^{\frac{3}{2}}$. Il est probable que ni l'une ni l'autre de ces conditions extrêmes ne se réalisent dans l'espace obscur cathodique. — L. B.

Les facteurs mécaniques et magnétiques capables d'exercer une influence sur l'orientation et la perfection de cristaux isolés de bismuth (1).

1. Introduction. — Plusieurs raisons semblent justifier l'importance de l'étude systématique des facteurs capables d'exercer une influence sur l'orientation et la perfection d'un cristal métallique. L'une d'entre elles est le fait que certaines méthodes employées pour l'accroissement des cristaux ne réussissent que pour certaines orientations, bien que l'orientation soit imposée au cristal en voie d'accroissement par le contact avec un cristal générateur. Il peut arriver alors que l'orientation désirée ne se maintienne que dans une petite région, ou même ne se réalise pas du tout. Dans un récent travail, Goetz et Hasler parviennent à la même conclusion que Kapitza, selon laquelle un cristal en voie d'accroissement est très sensible à toute action mécanique. Or, des tensions existent au cours de l'application de presque toutes les méthodes de production de cristaux. De là découle la nécessité de créer une nouvelle méthode pour décider si la région extrêmement sensible aux actions mécaniques est dans la phase solide ou dans la phase liquide.

De plus, il semblait intéressant d'examiner si des actions dirigées autres que les actions mécaniques ou thermiques, et en particulier des actions magnétiques, sont à même d'exercer une influence sur la cristallisation.

2. Méthode de production des cristaux. — Les conditions à remplir pour une cristallisation libre sont les suivantes : 1° Aucune tension ne doit exister dans la zone de formation du cristal ; 2° le cristal ne doit pas s'oxyder ; 3° la vitesse de croissance doit être uniforme, c'est-à-dire la même en tous les points du front de cristallisation ; 4° de même, le gradient thermique doit être uniforme tant en grandeur qu'en direction ; 5° si l'on désire prédéterminer l'orientation du cristal par inoculation, il est nécessaire de réaliser l'équilibre thermique entre le cristal générateur et le métal inoculé.

Aucune méthode ne remplit également bien ces diverses conditions et l'auteur s'est surtout efforcé de réaliser la première. A cet effet, il utilise des cuves rectangulaires en graphite d'Acheson, de 30 cm de longueur et 0,4 cm de largeur.

Pour remplir la deuxième condition, la cuve G est placée dans un tube de quartz ou de verre C (fig. 1), dont la partie moyenne est placée dans un petit four électrique F.

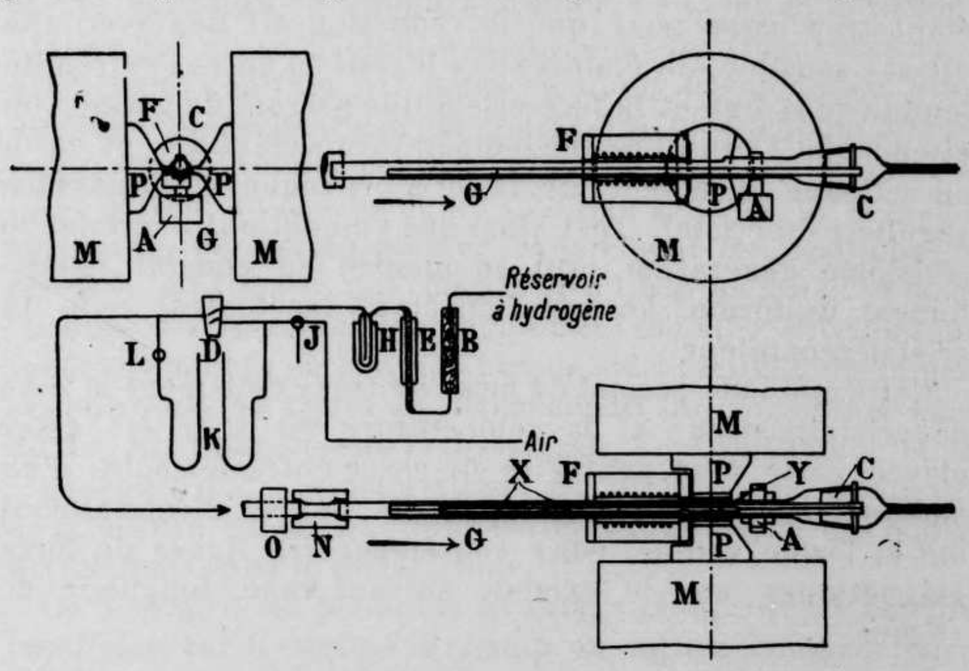


Fig. 1. — Schéma du dispositif d'obtention des cristaux.

Le tube est supporté à l'une de ses extrémités par une pièce A en forme de V, à l'autre par un crampon O solidaire d'un dispositif d'entraînement du tube, permettant de remplir la troisième condition ; la connexion entre O et C est établie au moyen d'un bout du tube de caoutchouc N.

Pour produire les cristaux, on opère comme il suit : on

(1) A. Goetz. *The physical Review*, 15 janvier 1930, t. XXXV, 2e série), p. 193-207, 4 000 mots, 10 figures.

prépare d'abord des tiges dn métal de 2 à 3 mm de diamètre et de 120 mm de longueur ; le crampon O est alors séparé du système moteur et déplacé vers la droite de telle façon que la cuve et le tube soient le plus possible en avant du four vers la droite ; on ouvre alors le tube, et l'on place la tige métallique dans la cuve, puis on referme le tube et l'on ramène le crampon de façon que la tige dépasse légèrement hors du four. Le four est alors chauffé avec précaution pour que l'extrémité de la tige ne fonde pas. Lorsque le tube est en équilibre thermique avec le four, on embraye le crampon et l'on actionne le système moteur, de façon à pousser le tube dans le sens de la flèche, à la vitesse de 5 mm : mn. Pendant ce temps, un courant d'hydrogène parcourt le tube, qui réduit la couche d'oxyde recouvrant le métal ; il est du reste nécessaire que la couche d'oxyde ne soit pas entièrement réduite. Dans ce but, on peut substituer de temps à autre l'air à l'hydrogène, suivant la disposition schématique de la figure. On obtient ainsi une première génération polycristalline.

Pour produire la seconde génération, la tige est placée dans la cuve et le four, chauffé vers 310 C. On fait en sorte que les quelques premiers millimètres ne fondent pas ; le courant d'hydrogène est établi et l'on met en marche le moteur. La tige fond alors en prenant la forme de la cuve et la surface du métal devient très brillante, par suite de la réduction. Lorsque l'autre extrémité de la tige arrive dans le four, on arrête le courant d'hydrogène et l'on envoie un courant d'air qui recouvre cette portion du métal d'une pellicule presque invisible d'oxyde, dont le rôle est de fixer la forme de l'extrémité de la tige, et d'empêcher le métal de s'écouler vers l'autre extrémité, sous l'influeuce de la tension superficielle qui est considérablement plus grande lorsque toute trace d'oxyde a disparu.

Pour prédéterminer l'orientation dans cette seconde génération, on fait appel à l'inoculation par un cristal générateur. Dans ce but, la tige de métal obtenue dans les essais précédents est à nouveau placée dans la cuve, cette dernière dans le four (en présence d'hydrogène), de façon que l'extrémité droite de la tige soit fondue. La mince couche d'oxyde subsistait dans ces conditions, la température (290°C) étant trop basse pour que la réduction ait lieu avec une vitesse sensible. On établit alors le contact entre l'extrémité fondue de la tige et la face cristalline servant de germe ; on attend que l'équilibre de température s'établisse, et enfin on actionne le moteur, de façon à provoquer la croissance régulière du cristal. C'est ainsi que l'on obtient le cristal de troisième génération, qui se montre en général parfaitement uniforme, l'orientation étant exactement celle du cristal générateur.

Cette méthode permet de localiser très exactement la zone de cristallisation ; si la température du four est assez élevée, cette zone peut être disposée entre les pôles d'un électroaimant. Les pièces polaires de cet électroaimant ont la forme voulue pour concentrer les lignes de force magnétiques sur le cristal, suivant une longueur de 18 mm.

3. Résultats. — L'auteur a d'abord étudié systématiquement les conditions dans lesquelles le cristal générateur transmet son orientation à la tige. Des expériences réalisées avec des cristaux générateurs distordus, etc., montrent que des unités cristallines doivent déjà exister à l'état liquide et que ce « cristal liquide » n'est détruit qu'à 10°C environ au-dessus du point de fusion. L'auteur suggère que ces unités cristallines sont identiques aux unités cristallines postulées par Zwicky et qu'il a déjà observées.

4. Influence du champ magnétique. — Pour étudier cette influence, l'auteur utilise des cristaux dont les directions principales sont diversement orientées par rapport au vecteur du champ magnétique. Aucun changement d'orientation n'est provoqué par le champ. Toutefois, des cristaux formés dans le champ sans orientation prédéterminée indiquent une orientation privilégiée où la direction de susceptibilité diamagnétique minimum (parallèle à l'axe ternaire) est parallèle au vecteur du champ magnétique. — L. B.

Méthode et appareils utilisés au Bureau of Standards pour l'essai des oscillateurs piézoélectriques destinés aux stations de radiodiffusion (1).

Le maintien rigoureux de la fréquence d'une station de radiodiffusion, nécessaire pour la réduction des brouillages, s'obtient généralement par l'emploi d'un quartz piézoélectrique qui produit ou stabilise la fréquence. Le Bureau of Standards a renoncé à ajuster lui-même les quartz à la fréquence demandée ; la fréquence fournie par l'oscillateur est mesurée avant et après l'ajustage effectué par le constructeur lui-même sur les indications résultant de la première mesure. L'installation réalisée permet d'effectuer ces mesures dans les conditions les plus favorables et peut également servir à déterminer directement la fréquence d'une station ou à étalonner un fréquencemètre.

1. Principe de la méthode. — La méthode d'essai et les étalons employés pour l'étalonnage doivent avoir une précision dix fois supérieure à celle des appareils à essayer. Les oscillateurs piézoélectriques peuvent amener à une mesure très précise ; mais ce fait ne donne aucune indication sur la manière dont se comporte l'appareil dans ses conditions normales d'emploi, lorsqu'il est soumis à des causes importantes de variation.

La mesure précise de la fréquence des oscillateurs est basée sur la mesure des différences de fréquences. Lorsque deux générateurs de fréquences voisines sont couplés, le courant résultant a une fréquence musicale qui décroît quand les deux fréquences se rapprochent. La détermination de l'unisson reste peu précise à l'oreille, le téléphone ne reproduisant pas les notes très graves ; des indicateurs de battements, spéciaux pour ces très basses fréquences, peuvent remplacer l'oreille ; il est possible également d'employer un diapason auxiliaire, qui bat avec la note perçue.

L'étalon utilisé est un oscillateur piézoélectrique dont les conditions de fonctionnement, thermiques et électriques, sont maintenues rigoureusement constantes ; on vérifie la fréquence au moins une fois par semaine, par comparaison avec d'autres oscillateurs. Les quartz à étalonner pour les stations de radiodiffusion ayant des fréquences multiples de 10000 p : s, on a adopté un générateur auxiliaire dont la fréquence peut s'ajouter exactement à 10000 p : s et dont on utilise les harmoniques. Le système comprend donc les appareils suivants : l'oscillateur piézoélectrique étalon ; le générateur à 10000 p : s dont la fréquence, très stable, peut être exactement réglée ; un générateur à haute fréquence couvrant la gamme désirée ; un ondemètre étalonné servant à déterminer le rang de l'harmonique utilisé ; un générateur à fréquence musicale très précis ; enfin un indicateur de battements pour régler les diverses fréquences considérées.

(1) E.-L. Hall. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, mars 1930, t. XVIII, p. 490-509, 7000 mots, 7 figures.

2. Description des appareils. — Etant donné le coefficient de température des quartz, il y a intérêt à maintenir la température très constante. La salle de mesures comporte une installation frigorifique et un dispositif de chauffage électrique, consommant chacun environ 5 kw, qui fournissent, grâce à des thermostats, le résultat cherché. L'oscillateur étalon, dont la fréquence est de 200000 p : s, possède tous les perfectionnements désirables; il comporte un système thermostatique spécial avec circulation d'air réglant sa température à moins de 0°,1 C près. Le générateur à 10000 p : s fournit une faible puissance; celle mise en jeu dans l'oscillateur à haute fréquence est de 250 w; un système de condensateurs permet de l'ajuster facilement à l'unisson d'un autre par égalisation des deux notes perçues à différences égales de part et d'autre. Le générateur à fréquence musicale est suivi d'un filtre réduisant les harmoniques. L'indicateur de battements comporte une série de bobines couplées lâchement avec les divers oscillateurs et un système amplificateur détecteur très étudié; les fréquences musicales sont écoutées au casque, tandis qu'un microampèremètre indique les battements lents.

Le développement des mesures de fréquence a montré la nécessité d'avoir un ondemètre précis et exact. Le condensateur, à air, comprend une partie fixe et une partie variable. Cette dernière est montée sur un cadran à vernier donnant une grande précision de lecture; sa capacité maximum est égale à celle de la partie fixe et la variation de fréquence obtenue est parfaitement linéaire. Les inductances interchangeables ont été bobinées sur des cylindres de pyrex, donnant une stabilité supérieure à celle des carcasses habituelles. Un circuit détecteur à couplage très lâche indique la résonance par un microampèremètre à courant continu. Depuis quelque temps la détermination de la résonance s'obtient en connectant un petit condensateur en parallèle avec le condensateur principal que l'on règle de façon à lire la même déviation au microampèremètre, que le petit condensateur soit en circuit ou non; la fréquence de réglage est un peu trop élevée, mais la graduation est établie en conséquence et la sensibilité s'en trouve très accrue.

Des diapasons permettent de régler rapidement un oscillateur sur un autre avec une différence connue.

3. Exécution des mesures. — Le réglage du générateur à 10000 p : s s'effectue à l'oreille en écoutant les battements de son harmonique avec le courant du quartz étalon; le réglage final s'obtient par battements de battements. Celui du générateur à haute fréquence sur un multiple de 10000 p : s ne peut donner de précision, à l'oreille, qu'avec un générateur auxiliaire; mais le réglage sur des fréquences différant de 2500 ou 5000 p : s, d'un multiple de 10000 p : s, est précis du fait que l'on entend les battements des battements. La détermination de la fréquence d'une note entendue au casque est obtenue en amenant à l'unisson le générateur musical; on risque alors de se régler sur un de ses harmoniques; toutefois, les indications de l'ondemètre pour les deux fréquences composantes permettent de lever le doute.

Pour étalonner un oscillateur, on mesure d'abord approximativement sa fréquence par absorption, puis par battements. Puis on s'assure que le quartz ne possède pas plusieurs fréquences voisines. Il est ensuite placé pendant 24 heures dans la salle à température constante; les mesures sont effectuées deux fois à un certain intervalle, et une troisième fois, s'il semble y avoir une variation. Lorsque la note de battements obtenue est trop grave, on décale systématiquement le générateur de mesure d'une quantité connue de façon à entendre la note.

Cette méthode, très souple et pratique, fournit des mesures de grande précision. — B. D.

Mesure de la constante diélectrique et de l'indice de réfraction de l'eau et des solutions aqueuses de chlorure de potassium aux fréquences élevées (1).

1. Généralités. — A la suite de la découverte des oscillateurs piézoélectriques et de leur adaptation à la production d'oscillations de fréquences constantes, les auteurs ont entrepris une série de recherches sur la mesure des longueurs d'onde. Ces recherches avaient pour but de déterminer les fréquences d'un oscillateur électrique par comparaison avec un étalon piézoélectrique et de mesurer les longueurs des ondes stationnaires produites par ledit oscillateur sur deux fils parallèles. On tenta ainsi une détermination directe du rapport des unités électromagnétique et électrostatique de quantité d'électricité. Toutefois, on reconnut que l'influence des objets environnants introduisait des erreurs et des incertitudes qu'il était impossible de réduire suffisamment avec un système de fils parallèles.

Dans le but d'éviter ces difficultés, les auteurs décidèrent de limiter le champ à l'espace compris entre un fil axial et un tube entourant ce fil. Cet appareil fonctionne depuis plusieurs années et les résultats obtenus avec l'air ou le vide comme diélectrique ne sont pas encore assez précis pour être publiés, en raison de petites inégalités mécaniques du système.

Actuellement, les auteurs se bornent à donner les résultats de recherches effectuées dans une autre direction, avec le même dispositif.

2. Méthode de mesure de l'indice de réfraction des liquides. — Il s'agissait de mesurer l'indice de réfraction de liquides médiocrement conducteurs; on a fait usage, à cet effet, d'un tube de laiton suivant l'axe duquel est disposé un fil de cuivre, et rempli du liquide à étudier. Le tuyau et le fil sont excités par un oscillateur à lampe dont les fréquences sont exactement connues par leurs relations harmoniques avec un étalon piézoélectrique en quartz. Un plongeur mobile de laiton établissant des contacts glissants avec le tuyau et le fil et portant au-dessus de lui une tige graduée, de la même substance, permet de pointer exactement les positions de réaction maximum, qui sont à une demi-longueur d'onde les unes des autres. Un galvanomètre sensible enregistrant les changements de courant plaque de l'oscillateur indique ces positions, au cours du déplacement du plongeur le long du tuyau. Connaissant la fréquence de l'oscillateur et la longueur d'onde caractéristique du diélectrique, résultant de la mesure, on obtient immédiatement la vitesse des ondes hertziennes dans le diélectrique.

Ce dispositif est bien plus avantageux que celui des fils parallèles, car il confine le champ au milieu compris entre le fil et le tuyau.

Le domaine des longueurs d'onde étudiées s'étend de 4 à 25 mètres (dans le vide). Les durées des périodes correspondantes sont comprises entre $1{,}31.10^{-8}$ s, et $8{,}49.10^{-8}$ s. La valeur obtenue par la constante diélectrique de l'eau distillée est égale à 78,57, à 25°C, et elle est indépendante de la période, dans le domaine qui vient d'être indiqué.

(1) F.-H. Drake, G.-W. Pierce et M. T. Dow. *The physical Review*, 15 mars 1930, t. xxxv (2e série), p. 613-622, 2000 mots, 3 figures.

3. ETUDE DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE DE L'EAU ET DES SOLUTIONS AQUEUSES. — **Les auteurs étudient ensuite les valeurs de la constante diélectrique de l'eau à diverses températures t comprises entre 10°C et 60°C. Les résultats satisfont à la relation empirique**

$$\varepsilon_t = 78{,}57\,[1 - 0{,}00461(t-25) + 0{,}0000155\,(t-25)^2 + \ldots].$$

Entre 4°C et 10°C, l'exactitude de cette équation est incertaine.

Enfin, les auteurs passent à l'étude de solutions aqueuses de chlorure de potassium, dont les conductivités varient de 0.97×10^7 unités électrostatiques à 178×10^7 unités électrostatiques; et, séparant les effets de conduction des effets diélectriques, ils trouvent que la constante diélectrique ne dépend qu'à un faible degré de la concentration ionique de la solution, et reste presque égale à celle de l'eau pure. — L. B.

L'effet Hall, la conductivité électrique et le pouvoir thermoélectrique de la série d'alliages plomb et antimoine (1).

Il n'existe pas encore d'explication théorique satisfaisante de la conduction électrique et des effets galvanomagnétiques dans les métaux et alliages et il est, avant tout, nécessaire de posséder une connaissance plus complète des phénomènes correspondants. Une grande partie des recherches antérieures ont porté sur des corps impurs et le rôle important que peuvent jouer, dans les propriétés physiques des corps, des traces d'impuretés est aujourd'hui bien connu.

L'objet du présent travail est d'étudier les variations de l'effet Hall, de la conductivité électrique, du coefficient de température de la résistance et du pouvoir thermoélectrique avec la composition d'une nouvelle série d'alliages, qui ne manifestent pas de grandes variations de structure cristalline dans un large domaine de compositions. L'examen des propriétés de cette série est important au point de vue théorique. D'après le diagramme d'équilibre du système plomb et antimoine, ce dernier élément forme une solution solide dans le plomb, jusqu'à un titre en antimoine égal à 0,02; tous les autres alliages consistent en un mélange eutectique de cette solution solide avec des cristaux d'antimoine.

Sur chaque échantillon, l'auteur a mesuré la résistivité électrique, le coefficient de température de la résistance, le pouvoir thermoélectrique et le coefficient de Hall. La résistivité était mesurée à 0°C, aussitôt après obtention de l'alliage; puis on la déterminait après une suite de recuits, jusqu'à ce que la résistivité ne manifeste plus de variation. Le coefficient de température de la résistance, le pouvoir thermoélectrique et l'effet Hall étaient alors mesurés.

Chacune des courbes représentant les variations de l'effet Hall, de la résistivité, du coefficient de température de la résistance, du pouvoir thermoélectrique, en fonction du titre de l'antimoine dans l'alliage, est continue et sans aucune irrégularité; il n'y a pas d'indications d'une connexion étroite entre ces grandeurs.

Le recuit a pour effet de diminuer la résistivité des alliages étudiés. — L. B.

(1) E. STEPHENS. *The philosophical Magazine*, avril 1930, t. IX (7e série), p. 547-560, 3 000 mots, 5 figures.

ERRATA

A propos de l'article de M. André BLONDEL intitulé : « Sur les diagrammes d'alternateurs accouplés » et publié dans la « Revue générale de l'Electricité » des 7, 14, 21 et 28 juin 1930, t. XXVII, p. 885-895, 935-944, 968-976 et 1011-1023, il y a lieu de faire les rectifications suivantes :

Pages 1015, 2e colonne, 4e ligne comptée à partir du bas; au lieu de

$$I_1 = (2{,}4 + j\ 1{,}8)\ \text{A},$$

lire

$$= (2{,}4 - j\ 1{,}8)\ \text{A}.$$

Page 1016, 1re colonne, 11e, 10e et 9e lignes comptées à partir du bas; au lieu de

$$OB_1 = 15\,637 + j\ 41\,237,$$

$$OB_2 = 5\,359 + j\ 32\,664,$$

$$OD = 2\,109 + j\ 22\,773.$$

lire

$$OB_1 = 15\,637 - j\ 41\,237,$$

$$OB_2 = 5\,359 - j\ 33\,664,$$

$$OD = 2\,109 - j\ 22\,773.$$

Page 1019, légende de la figure 26; au lieu de : « à une échelle double », lire : « à une échelle semblable ».

Page 1011, dans la référence bibliographique des travaux de M. A. Blondel, publiés dans « L'Eclairage électrique », il importe de préciser que la démonstration de l'existence du flux tournant inverse dans une machine déséquilibrée est développée dans l' « Eclairage électrique » du 10 août 1895, t. IV, p. 252-253.

SECTION INDUSTRIELLE

La classification des appareils d'éclairage d'après la répartition du flux lumineux

A la réunion des comités d'études de la Commission internationale de l'Eclairage qui eut lieu à Bellagio en 1928 a été créé un comité, le Comité de la Distribution du Flux lumineux, en vue de fixer une méthode permettant de déterminer et de comparer les qualités lumineuses des appareils d'éclairage. Aux séances que tint ce comité à la session plénière de Saranac-Inn de la Commission internationale de l'Eclairage (*), plusieurs rapports concernant ce sujet furent présentés, notamment par M. J. Wetzel (**) et par MM. H. Desarces et D. Demeure (***), et à la suite de la discussion de ces rapports, fut établi un questionnaire (****) devant être adressé aux différents comités nationaux. Le Comité français de l'Eclairage et du Chauffage a chargé l'une de ses commissions, la Commission des Sources lumineuses, d'étudier ce questionnaire. Après une discussion, à laquelle M. Dourgnon et M. Exelmans prirent une part active, l'accord s'établit sur une proposition de M. Wetzel, résumée dans le rapport que nous reproduisons ci-dessous. Il apporte une nouvelle et importante contribution à la question de la classification des appareils d'éclairage.

I. **Introduction**. — Pour le technicien, un appareil d'éclairage est caractérisé au point de vue photométrique par sa courbe de répartition des intensités lumineuses, à condition, bien entendu, que cette courbe ait été tracée dans certaines conditions bien déterminées qui demanderaient d'ailleurs, à notre avis, à être précisées. Le problème se pose un peu différemment pour toute personne qui ne possède pas toutes les connaissances techniques nécessaires, mais qui doit trouver dans les catalogues des indications peut-être moins complètes, mais plus aisément accessibles, lui permettant de choisir en connaissance de cause l'appareil qui lui convient. C'est dans ce but que l'on a distingué jusqu'à présent les appareils d'éclairage direct, indirect, semi-direct, semi-indirect et parmi les appareils d'éclairage direct, les appareils intensifs, extensifs, etc.

L'objet du présent article est d'apporter dans les définitions de ces termes le plus de précision possible, tout en conservant à leur signification toute la simplicité désirable.

II. **Définition des divers systèmes d'éclairage.** — Tout d'abord, il importe de remarquer qu'un éclairage ne peut être qualifié direct, indirect, semi-direct, ou semi-indirect que par rapport à une surface bien déterminée qui est la surface éclairée. Nous pourrons donc définir simplement, et d'une façon aussi générale que possible, ces systèmes d'éclairage de la façon suivante :

1° Un système d'éclairage est direct si la presque totalité (au moins 90 pour 100) du flux lumineux des appareils atteint sans réflexion la surface à éclairer ;

2° Un système d'éclairage est indirect si la presque totalité (au moins 90 pour 100) du flux lumineux des appareils n'est dirigée vers la surface à éclairer qu'après une ou plusieurs réflexions ;

3° Un système d'éclairage est semi-direct si la majeure partie (au moins 60 pour 100) du flux lumineux des appareils atteint sans réflexion la surface à éclairer ;

4 Un système d'éclairage est semi-indirect si la majeure partie (au moins 60 pour 100) du flux lumineux des appareils n'est dirigée vers la surface à éclairer qu'après une ou plusieurs réflexions.

A ces quatre systèmes d'éclairage, nous ajoutons le suivant :

5° Un système d'éclairage est mixte si la proportion du flux lumineux qui atteint directement la surface à éclairer est comprise entre 40 pour 100 et 60 pour 100 du flux lumineux total.

Un appareil d'éclairage est direct, indirect, semi-direct, semi-indirect ou mixte suivant qu'il permet de réaliser un système d'éclairage direct, indirect, semi-direct, semi-indirect ou mixte, lorsqu'il est utilisé dans les conditions normales d'emploi. (Il est évident qu'un appareil direct peut servir à l'éclairage indirect lorsqu'il est renversé, mais il n'est pas utilisé dans ses conditions normales d'emploi).

Nous avons préféré admettre dans les éclairages direct et indirect une faible proportion de flux dirigé en sens inverse de la presque totalité du flux lumineux émis, car il existe des appareils dont la destination est, de toute évidence, d'éclairer soit directement, soit indi-

(*) Commission internationale de l'Eclairage : Travaux du Comité de la Distribution du Flux lumineux. *Revue générale de l'Electricité*, 2 novembre 1929, t. XXVI, p. 689-692.

(**) J. Wetzel; Etude de la répartition du flux des appareils d'éclairage. *Revue générale de l'Electricité*, 29 décembre 1928, t. XXIV, p. 975-979.

(***) H. Desarces et D. Demeure ; Définition des appareils d'éclairage par la méthode de la répartition du flux. *Revue générale de l'Electricité*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 937-942.

(****) *Revue générale de l'Electricité*, 2 novembre 1929, t. XXVI, p. 691, note de la deuxième colonne.

rectement une surface et qui doivent être classés en conséquence, bien que leur construction leur permette de laisser passer, parfois à dessein, une faible partie du flux dans la direction opposée. Nous avons également introduit une cinquième classe d'appareils, appelés mixtes, afin de réserver les dénominations de semi-direct et semi-indirect à ceux qui dirigent, dans un sens ou dans l'autre, une proportion suffisante de flux lumineux.

Si l'on ne fait sur la surface à éclairer aucune hypothèse spéciale, on suppose qu'il s'agit d'un plan horizontal indéfini situé au-dessous des appareils.

Si l'on ne fait sur les appareils aucune hypothèse spéciale, on suppose que l'appareil est de révolution autour d'un axe ; si l'appareil n'est pas de révolution, il est nécessaire d'indiquer ses plans de symétrie.

III. **Subdivision des appareils d'éclairage direct.** — Il est courant d'employer les termes d'intensif, extensif, concentrant pour les appareils d'éclairages direct, mais ces termes ne sont pas suffisamment définis. Nous avons cherché à leur donner une certaine précision en les distinguant d'après un critérium facile à obtenir. La méthode à appliquer pour obtenir ce critérium est la suivante :

Supposons que les appareils soient de révolution autour d'un axe ; on trace la courbe des flux de ces appareils, c'est à-dire la courbe de variation des flux compris dans un cône d'ouverture 2α, ayant pour axe celui de l'appareil, en fonction de l'angle α. On cherche l'angle α_1 auquel correspond le flux moitié du flux hémisphérique inférieur. L'appareil est classé suivant l'intervalle dans lequel tombe cet angle α_1, qui correspond à ce qu'on peut appeler « la direction moyenne » du flux :

$\alpha_1 < 30°$	appareil	concentrant ;
$30° < \alpha_1 < 40°$	»	intensif ;
$40° < \alpha_1 < 45°$	»	semi-intensif ;
$45° < \alpha_1 < 50°$	»	semi extensif ;
$50° < \alpha_1 < 60°$	»	extensif ;
$60° < \alpha_1$	»	superextensif.

L'angle de 45° forme la limite de démarcation entre les appareils semi-intensifs et semi-extensifs. Cet angle correspond à la direction moyenne du flux émis par une surface plane diffusant suivant la loi de Lambert. Les appareils qui diffusent la lumière plutôt qu'ils ne la réfléchissent régulièrement, par exemple les réflecteurs en tôle émaillée, se classent donc soit dans les appareils semi-intensifs, soit dans les appareils semi-extensifs. Dans les autres classes on trouve les appareils destinés à diriger le flux d'une façon plus nette soit vers la verticale soit vers l'horizontale, par exemple certains réflecteurs en métal poli, en verre argenté ou à verrerie prismatique.

IV. **Cas d'un appareil ayant un solide photométrique non de révolution, mais admettant un plan de symétrie.** — C'est le cas de tous les appareils, pratiquement réalisés, que l'on nomme dyssymétriques. Considérons l'axe du solide photométrique, qui n'est pas de symétrie, mais qui correspond à l'axe de l'appareil et qui est, en général, celui de la lampe. Faisons passer par cet axe un plan qui divise le flux émis d'un seul côté du plan de symétrie en deux parties égales. Considérons, d'autre part, un cône de révolution, dont le sommet coïncide avec le pôle du solide photométrique et dont l'axe coïncide avec celui de ce solide, qui divise le flux total émis par l'appareil en deux parties égales. L'intersection du cône et du plan considérés détermine une direction que nous pouvons encore appeler « direction moyenne » du flux. L'azimut de cette direction peut être nommé « l'écart moyen » du flux et l'angle qu'elle forme avec l'axe, « l'inclinaison moyenne du flux ». Ces deux angles peuvent servir à établir une classification des appareils dyssymétriques, en les comparant aux angles indiqués plus haut pour les appareils symétriques. Une direction moyenne qui ferait, par exemple, un angle de 43° avec l'axe et dont l'écart moyen serait de 65°, correspondrait à un appareil « verticalement semi-intensif » et « horizontalement superextensif ». Ce serait un bon appareil pour éclairage de vitrine.

V. **Conclusions.** — La méthode que nous préconisons a l'avantage de donner, si on le désire, un mode de représentation commode et frappant de la répartition du flux lumineux d'un appareil. En effet, il est facile, lorsqu'on trace la courbe des flux, de tracer sur la courbe photométrique de l'appareil des rayons divisant le flux hémisphérique inférieur en flux partiels égaux, par exemple, au dixième de ce flux. La plus ou moins grande concentration de ces rayons dans une direction figure assez bien la concentration du flux dans cette même direction, à la manière des lignes de force d'un champ électrique dont le rapprochement permet de figurer l'intensité de ce champ.

L'indication de ces rayons sur la courbe photométrique permet, en outre, de calculer aisément le flux compris dans des cônes de 10°, 20°, 30°, etc., ou dans certains intervalles entre ces cônes si l'on connaît le flux hémisphérique inférieur.

En résumé, il nous paraît intéressant d'indiquer dans les catalogues, dans le cas des appareils de révolution :

1° Le type d'appareil, déterminé comme il est dit précédemment ;

2° La courbe photométrique de l'appareil sur laquelle on tracera le rayon correspondant à la direction moyenne du flux hémisphérique inférieur et, si possible, ceux qui divisent ce flux en dix parties égales ;

3° Les valeurs du flux total, du flux hémisphérique supérieur, du flux hémisphérique inférieur ;

4° Le rendement ;

5° Un dessin schématique de l'appareil et de la lampe dans lequel figurent les cotes d'encombrement et la position de la lampe exactement repérée ;

6° Le type et la puissance de la lampe.

J. Wetzel,
Ingénieur E. S. E.

Le problème des huiles isolantes en électrotechnique

(Suite et fin) (*)

VI. **La variation de la stabilité de l'huile.** — 1. L'INFLUENCE DE LA CONSERVATION ET L'EFFET DU PRÉCHAUFFAGE. — Nous avons déjà dit dans le chapitre III que l'huile la mieux raffinée ne conserve pas indéfiniment sa stabilité initiale, mais qu'elle la perd plus ou moins rapidement et dans une mesure plus ou moins forte. Cette diminution de la stabilité peut déjà se produire au cours de la conservation de l'huile pendant un certain temps. Ce phénomène est encore trop peu étudié pour qu'il soit possible de donner ici une explication valable. Il fait chez nous l'objet d'une étude qui nous permettra, espérons-le, de trouver par la suite des moyens efficaces pour y parer. Nous nous bornons ici à signaler qne nous avons constaté dans certains cas qu'une huile conservée pendant quelques années dans un transformateur hors service était devenue presque aussi altérable que la même huile qui fonctionnait pendant une durée de temps identique dans un transformateur en régime de marche constant (voir plus loin tableau X et graphique 10).

Cette diminution de la stabilité de l'huile peut être produite dans un temps beaucoup plus court par un simple préchauffage de l'huile en l'absence de cuivre pendant plusieurs semaines réalisé dans une étuve à 50-60°C comme le tableau VI et les graphiques 3 à 5 le montrent. Nous recherchons encore à établir si, dans

TABLEAU VI (graphiques 3 à 5) (1). — *Variation de l'altérabilité de trois huiles en fonction de la durée de préchauffage (sans cuivre) à l'étuve à 50-60° C.*

HUILE	DURÉE DU PRÉCHAUFFAGE semaines.	PREMIÈRE PÉRIODE Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique	REMARQUES
202	Néant.	16	0,0125	0,105	
	Deux.	7	0,008	0,10	
	Trois.	7	0,010	0,13	
203	Néant.	88 30	0,011	0,08	
	Quatre.	24	0,006	0,06	
	Six.	15 15	0,004	0,07	
204a	Néant.	43	0,002	0,23	Surraffinée.
	Quatre.	40	0,0013	0,155	
	Six.	25	0,0075	0,065	

(1) Nous nous abstenons, pour restreindre le volume de cet article, de reproduire dans les tableaux suivants les résultats complets d'analyse; nous n'en publions que les valeurs relatives à la première période suffisantes pour caractériser l'altérabilité des huiles

Les résultats d'analyse complets sont à la disposition des intéressés à l'Ecole nationale supérieure du Pétrole et des Combustibles liquides de Strasbourg.

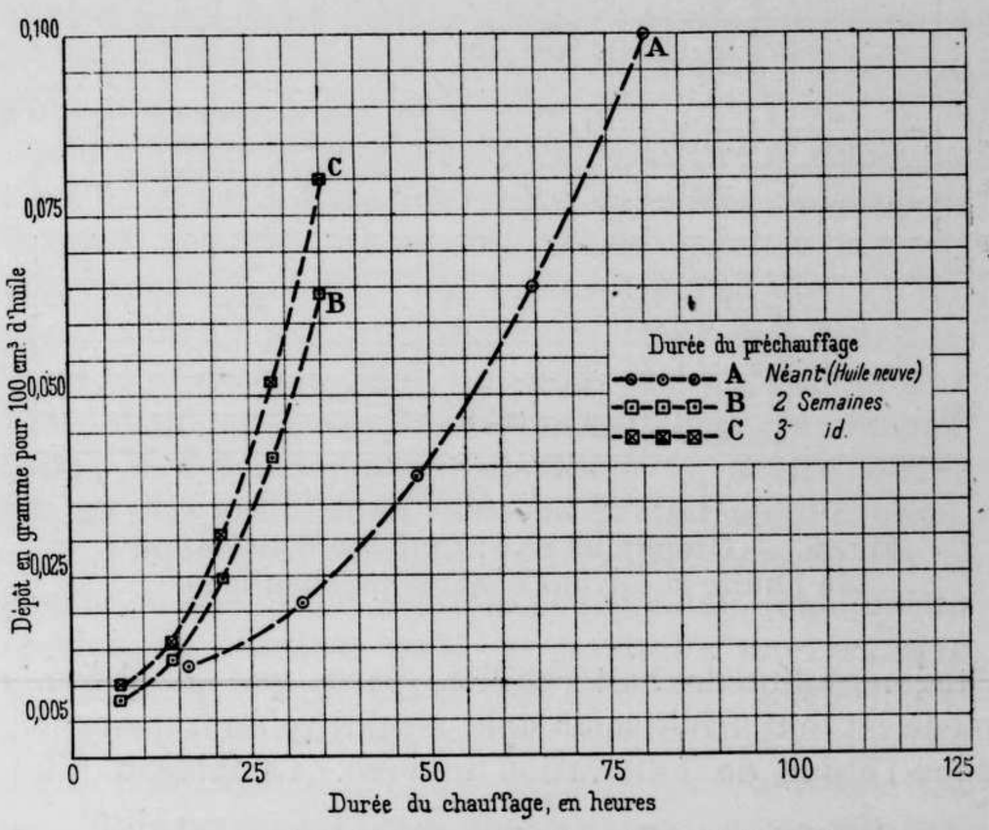


Fig. 4. — Graphique n° 3 : Courbes d'altération de l'huile 202 avant et après préchauffage.

fage de durée différente, reproduites dans les graphiques 3 à 5, on constate que la période initiale de l'huile tombe d'abord assez rapidement pour subir

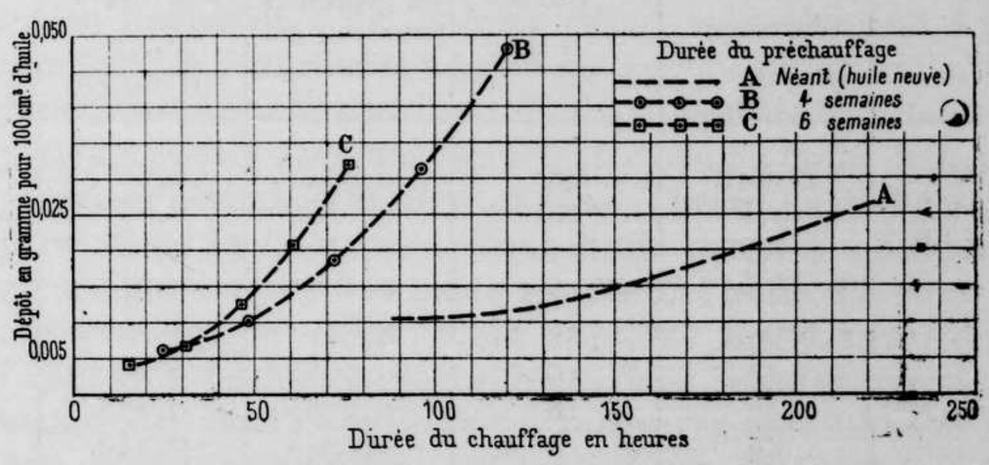


Fig. 5. — Graphique n° 4 : Courbes d'altération de l'huile 203 avant et après préchauffage.

ensuite des variations beaucoup moins fortes pour une durée de préchauffage plus longue. Dans le cas de l'huile surraffinée 204 a, par contre, la chute de la première période se manifeste beaucoup plus tard, mais d'une manière assez analogue. Il semblerait donc qu'il faut distinguer dans l'huile un état de stabilité et un état de sensibilité. Dans le premier cas l'altérabilité ne variera guère sous l'effet des facteurs d'altération,

(*) *Revue générale de l'Électricité*, 12 juillet 1930, t. XXVII, p. 61-73.

mais très rapidement dans le deuxième cas. Tout ce que nous pouvons dire à l'heure actuelle, c'est que l'huile passe alternativement par ces deux états dont nous ignorons la durée exacte.

Nous avons signalé l'influence du préchauffage sur

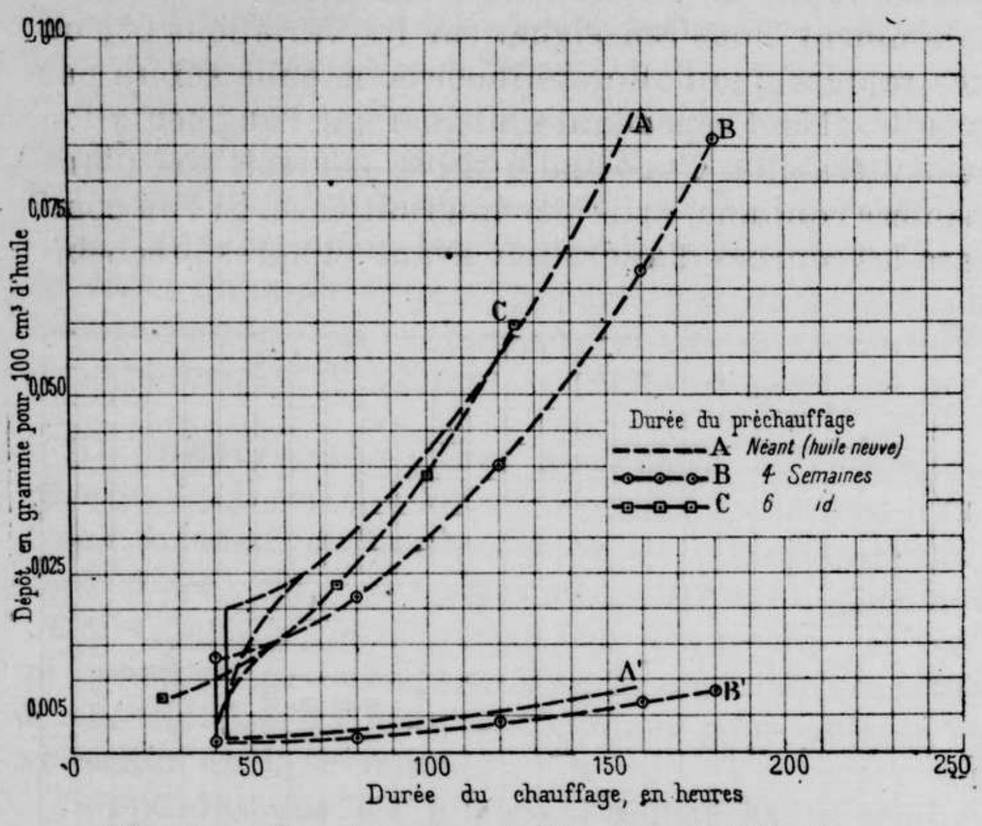


Fig. 6. — Graphique n° 5 : Courbes d'altération de l'huile 204 avant et après préchauffage.

l'augmentation de l'altérabilité, parce que ce phénomène est tout à fait semblable à celui qu'on remarque dans l'étude de l'altération in vivo. Le tableau VII

TABLEAU VII (graphiques 6 et 7). — *Augmentation de l'altérabilité de deux huiles en fonction de la durée de leur service dans un transformateur.*

HUILE	APRÈS UN SERVICE de mois.	PREMIÈRE PÉRIODE Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique
129 (1)	Néant.	48	0,0 43	0,60
	9,5	46	0,0050	0,13
	21,5 (3)	17	0,002	0,06
	34,5	16	0,0010	0,08
203 (2)	Néant.	88 30	0,011	0,08
	43	16	0,0085	0,18
	37	16	0,0065	0,175
	49	8	0,0045	0,140
	55	4	0,0020	0,115

(1) Dans un transformateur de 75 kv-a, 6300/230 v, en régime de marche intermittent.
(2) Dans un transformateur de 5000 kv-a, 10500/38500 v, en régime de marche intermittent.
(3) Après ce prélèvement, une recharge fut faite avec l'huile neuve identique.

(graphiques 6 et 7) indique l'altérabilité des huiles 129 et 203 mesurée après différentes durées de service dans un transformateur. Dans le cas de l'huile surraffinée (129 identique à 204) nous constatons également que la stabilité n'a guère diminué après la première année de service ; une diminution très nette s'est produite à la fin de la deuxième année, qu'on ne remarque plus à la fin de la troisième année. Pour l'huile normalement raffinée (203) nous observons une variation

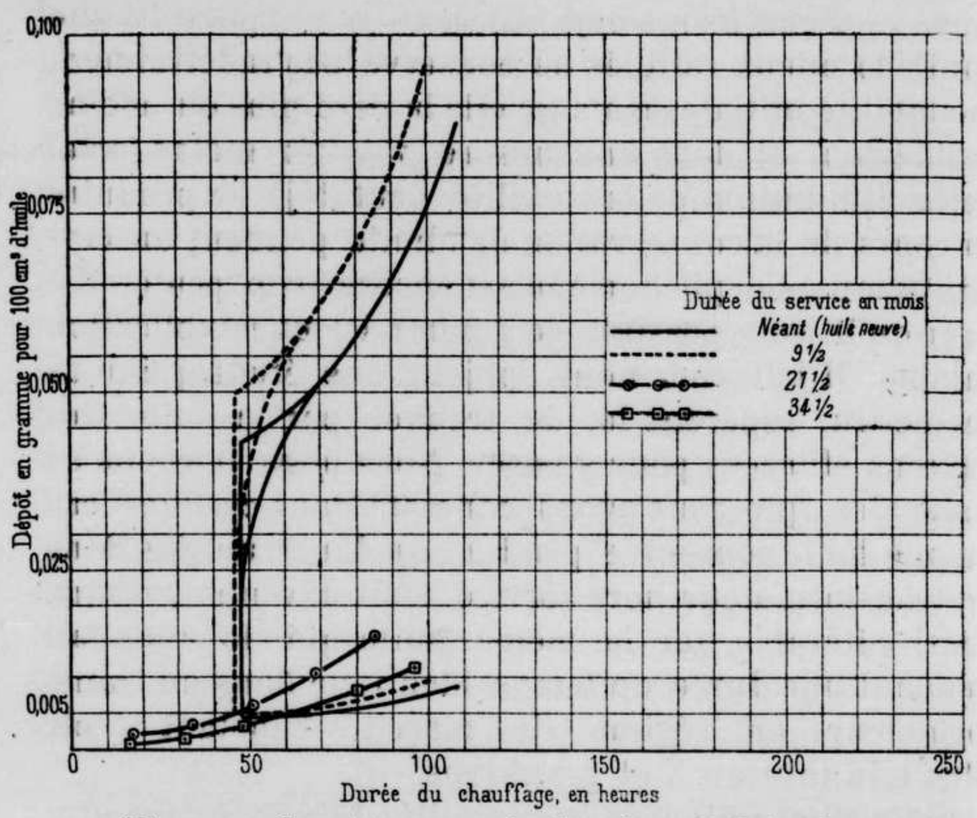


Fig. 7. — Graphique n° 6 : Courbes d'altération de l'huile 129 avant et après service dans un transformateur.

tout à fait analogue caractérisant successivement les états de sensibilité et de stabilité parcourues par l'huile. Dans ce dernier cas nous ne possédons malheureusement pas les indications de l'altérabilité de l'huile après une et deux années de service, les premiers pré-

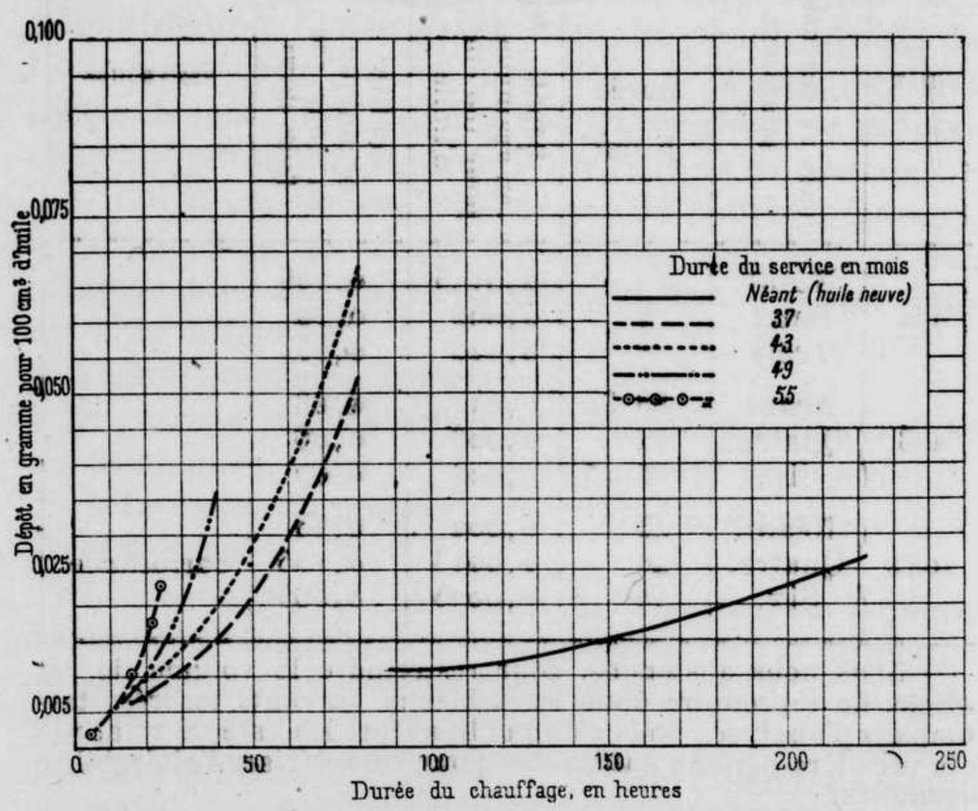


Fig. 8. — Graphique n° 7 : Courbes d'altération de l'huile 203 avant et après service dans un transformateur.

lèvements n'ayant été effectués dans les appareils en question qu'après trois années de fonctionnement. Les courbes d'altération de l'huile 286 en fonction de la durée de service que nous reproduisons plus loin (tableau XIV et graphique 13) montrent d'ailleurs très

nettement le même phénomène que nous avons encore observé dans d'autres cas.

L'influence d'une faible action de la chaleur sur la stabilité de l'huile montre combien il est nuisible de faire subir à l'huile un séchage inapproprié comme on l'applique encore assez fréquemment. Le tableau VIII

TABLEAU VIII (graphique 8). — *Comparaison de l'altérabilité d'une huile avant et après séchage (durant trois jours à 95°C) dans un transformateur.*

HUILE	PREMIÈRE PÉRIODE		
	Durée en heures.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.
Avant le séchage.	15	0,003	0,035
Après le séchage.	7	0,0015	0,035

(graphique 8) montre la variation de l'altérabilité d'une huile après une telle opération, réalisée dans des conditions encore assez modérées : le transformateur contenant l'huile neuve avait été séché durant trois jours à 95°C. Cette opération a déterminé une chute de la première période de 15 h à 7 h. Il sera donc recommandé, pour prolonger la durée de vie de l'huile, d'appliquer ce procédé uniquement dans les cas indispensables.

2. L'AUGMENTATION DE L'ALTÉRABILITÉ DE L'HUILE AU COURS DE SON SERVICE. — L'examen des courbes d'altération des huiles susmentionnées avant et après usage montre que la courbe initiale de l'huile ne subit pas au cours du service seulement un déplacement parallèle vers l'axe des ordonnées, mais également un mouvement de rotation. Il arrivera finalement un moment où la courbe

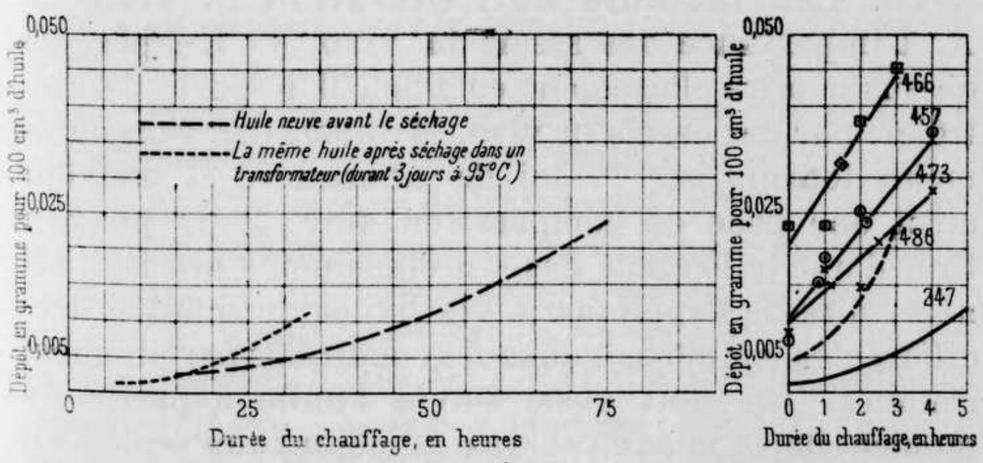


Fig. 9. — Graphique n° 8 : Courbes d'altération d'une huile neuve avant et après séchage dans un transformateur. — Fig. 10. — Graphique n° 9 : Courbes d'altération d'huiles usagées, très altérées en service.

coupera l'axe des ordonnées tout en conservant une allure parfaitement parabolique. La période de l'huile sera alors tombée à zéro, c'est-à-dire que l'huile donnera déjà du dépôt à froid, par simple dilution avec l'essence normale. La loi de la croissance des quantités de dépôt formées par période reste applicable à ce cas si l'on prend une heure comme unité de la période. Une telle huile n'est pas encore devenue inutilisable malgré sa teneur en dépôt soluble, puisqu'elle n'a pas encore commencé à déposer dans le transformateur. Dès qu'il y a formation des premières traces de dépôt dans l'appareil, c'est-à-dire constitution du dépôt insoluble, la courbe d'altération de l'huile préalablement filtrée ne présentera plus une allure parabolique, mais sera devenue une droite plus ou moins inclinée. La vitesse de la formation du dépôt en fonction de la période est devenue beaucoup plus réduite et peut finalement tomber à zéro. L'huile est devenue altérée et doit être échangée (voir tableau IX et graphique 9). Le phénomène que nous observons pour une huile altérée est donc bien similaire à celui que nous observons dans des huiles chauffées pendant de longues périodes. Il semble même que le rapport trouvé entre l'acidité d'une huile altérée in vivo et son dépôt obtenu par précipitation à froid soit sensiblement le même que celui que nous trouvons pour une huile analogue neuve très fortement altérée au laboratoire ; ceci demande cependant encore à être vérifié sur un plus grand nombre de cas parfaitement connus.

Si l'on étudie maintenant le déplacement de la courbe d'une huile surraffinée neuve en fonction du service, on constate qu'il se produit d'une manière tout à fait identique si l'on part de la courbe inférieure, dite de classement, de l'huile neuve. Ceci se comprend d'ailleurs aisément si l'on se rappelle que l'appréciation de l'huile neuve est basée somme toute sur la position du point de départ de la courbe qui se trouve précisément sur la courbe inférieure. Nous traçons la courbe complète uniquement pour pouvoir mieux préciser la position du point de départ, les quantités trouvées pour le premier dépôt étant très faibles. Il ne faut pas perdre de vue que tous les phénomènes enregistrés après l'apparition du premier dépôt appartiennent à une époque postérieure à la fin de service d'une huile, caractérisée par l'apparition du dépôt dans le transformateur, et correspondant dans notre essai à la fin de la première période. On ne peut donc à priori baser l'appréciation de la qualité d'une huile sur des phénomènes postérieurs à la fin de service de l'huile La non-observation de cette règle explique la mauvaise renommée des huiles surraffinées dans certains pays, employées sans ennuis dans d'autres régions. Le rejet des huiles surraffinées est motivé par la formation abondante de produits acides, attaquant facilement le coton. Or, voici ce que nous observons exactement dans l'altération artificielle des huiles surraffinées. La forte production de produits acides commence précisément après la première période, c'est-à-dire dans une phase de réaction qui est postérieure à la fin de service d'une huile. Et si nous comparons les résultats d'essai d'altération des huiles surraffinées neuves et usagées, nous constatons que la production en produits acides solubles dans l'huile diminue assez fortement avec la durée du service et que le mécanisme de la

TABLEAU IX (graphique 9). — *Quelques résultats d'essais de vieillissement artificiel avec des huiles très altérées au service* (1).

HUILE N°	DURÉE DU CHAUFFAGE EN HEURES												REMARQUES
	NÉANT (A FROID)		1		2		3		4		5		
	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile		Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile		Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile		Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile		Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	
	Trouvé.	Calculé.		Trouvé.	Calculé.		Trouvé.	Calculé.		Trouvé.	Calculé.		
247	traces	0,0010	0,36	0,0045	0,0020	0,39							
486 (2)	0,0040	0,0040	0,41	0,0125	0,0070	0,425							
457	0,007		0,41	0,0185		0,40							
473	0,008		0,30	0,0170		0,34							
466	0,023		0,69	0,023		0,655	0,0065	0,0052	0,44				Huiles contenant du dépôt soluble.
457	0,0115			0,0145		0,45	0,022	0,023	0,43	0,0365		0,41	Huiles contenant du dépôt insoluble, qui ont « déposé » dans le transformateur.
473										0,0280		0,34	
466							0,0450		0,630			0,630	

(1) Les déterminations furent faites avec l'huile préalablement filtrée.
(2) Huile identique à 247 mais prélevée un an plus tard dans le même appareil.

réaction subit une modification très nette en se rapprochant de celui des autres huiles moins fortement raffinées. Ainsi nous obtenons dans l'altération d'huiles surraffinées usagées, à la place du précipité huileux et collant fourni par l'huile neuve, un dépôt de plus en plus pulvérulent se détachant facilement des parois du verre. A la place de la courbe double nous trouvons une courbe simple. Une grande partie du dépôt formé reste cependant soluble dans l'huile chaude, mais la formation du dépôt soluble se produit simultanément avec celle du dépôt insoluble et ne constitue plus une phase de réaction postérieure comme dans le cas des huiles neuves.

Tous les exemples d'huiles surraffinées usagées que nous avons pu examiner ont confirmé nos vues exposées ci-dessus. Nous avons ainsi eu à analyser une huile surraffinée usagée après 15 ans de service qui avait une acidité initiale de 0,40 pour 100 d'acide oléique et une période de 4 heures. A la fin de la cinquième période, l'acidité était montée à 0,8 pour 100 d'acide oléique, a'ors que les huiles surraffinées neuves donnent, après altération, jusqu'à 10 pour 100 d'acide oléique. Nous n'avons pas encore pu rencontrer un échantillon d'huile surraffinée ayant produit beaucoup d'acides au cours d'un service de longue durée et dans des conditions d'emploi normal.

Dans le cas des huiles à base naphténique qui donnent aussi la courbe double à l'état neuf, nous constatons la même modification de l'allure de la courbe initiale en fonction du service que dans le cas des huiles surraffinées, en partant de la courbe inférieure de l'huile neuve qui doit, pour des raisons analogues, être considérée comme la courbe de classement.

Les huiles à base naphténique usagées donnent aussi une courbe simple à la place de la courbe double, par suite de la formation simultanée du dépôt soluble et insoluble.

VII. **Les facteurs de l'altération in vivo.** — A. **L'importance des essais in vivo.** — L'exposé ci-dessus montre clairement combien il importe de contrôler, par des essais in vivo, la valeur des renseignements fournis par l'essai de laboratoire et d'établir ainsi une base de comparaison sûre. Pour pouvoir tirer d'une telle étude des renseignements précis, il est nécessaire de l'appliquer à des huiles de qualités très différentes, employées dans des conditions parfaitement connues. On doit aussi suivre l'huile à partir du moment de sa mise en service en notant non seulement ses caractéristiques et celles du transformateur, mais aussi le régime de marche de l'appareil et toutes les opérations qui ont pu y être effectuées durant son fonctionnement. Dans la plupart des cas où nous avons été appelés à apprécier la valeur d'une huile usagée ou à suivre les progrès de l'altération dans des appareils fonctionnant déjà depuis un certain temps, le manque de l'une ou de l'autre de ces données (qualité initiale de l'huile, renseignements relatifs aux recharges ou sur la marche de l'appareil, etc.) ont rendu quelque

peu difficile l'interprétation exacte des résultats obtenus.

Nous avons ainsi été amenés à organiser, sous l'égide de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension, toute une série d'études in vivo qui fonctionnent depuis 1926 dans différents réseaux et qui nous permettent de suivre les variations de l'altérabilité de diverses huiles sous l'effet de différents facteurs d'altération. Nous allons exposer très rapidement les observations préliminaires que nous avons déjà pu faire dans cette direction.

B. **Les facteurs d'altération in vivo.** — La vitesse avec laquelle l'altérabilité d'une huile augmente en cours de son service n'est pas toujours la même pour la même huile employée dans des appareils de types différents. Elle varie avec la nature des matières premières employées dans la construction de l'appareil et avec les conditions de service. Nous pouvons distinguer deux groupes de facteurs d'altération : l'influence des matières constituantes du transformateur et l'influence de la marche du transformateur.

1. L'INFLUENCE DES MATIÈRES CONSTITUANTES DU TRANSFORMATEUR. — Parmi les matières premières nuisibles pour la stabilité de l'huile, nous avons rencontré entre autres la céruse, employée dans certains cas pour rendre étanches les bouchons à vis. Ce produit, une fois entré en contact avec l'huile, active beaucoup l'altération. Dans un autre transformateur dont le couvercle était rendu étanche par un joint de plomb, ce métal avait déterminé l'altération caractéristique qu'on observe aussi au laboratoire lorsqu'on fait vieillir l'huile en présence de plomb et qui aboutit à la formation abondante d'acides gras et de savons de plomb en grande partie solubles dans l'huile et qui se précipitent sous forme d'un dépôt pâteux jaune à jaune brunâtre. La présence de savons de plomb dans l'huile détermine aussi une forte augmentation de la conductibilité électrique et menace ainsi le bon isolement de l'appareil.

Un troisième cas a montré, d'une manière bien frappante, le manque de stabilité de l'huile qui se trouve en contact avec une grande surface de cuivre nu. Il s'agissait d'un groupe de transformateurs refroidis par un courant d'eau et munis d'un serpentin en cuivre nu logé dans l'huile. Ces appareils étaient remplis avec une huile ayant une période initiale de 16 heures. Après deux ans de service, cette huile était littéralement transformée en une masse boueuse ; elle fut remplacée par une nouvelle huile beaucoup plus stable que la première (période initiale de 70 heures) ; cette dernière a vu, après 9 mois de service, sa période tomber à une heure et elle commençait à déposer peu de temps après. Il a suffi d'étamer la surface extérieure du serpentin en cuivre pour faire disparaître les causes de cette altération ultrarapide.

2. L'INFLUENCE DES CONDITIONS DE SERVICE. — La vitesse de l'altération in vivo augmentera naturellement avec la température atteinte dans l'appareil en ordre de marche. Cependant nos observations semblent démontrer que la vitesse d'altération varie très peu pour un intervalle de température compris entre 30 et 60°C, mais augmente sensiblement pour une température de 80 à 90°C. Les constructeurs s'efforcent d'ailleurs de réduire l'échauffement des appareils.

La variation de la charge ne semble guère influer sur la vitesse d'altération, sauf dans les cas où elle détermine une très forte variation dans l'échauffement de l'appareil. Nous ne connaissons pas encore l'influence exacte de la surcharge sur la vitesse d'altération de l'huile.

Par contre, nous avons pu constater, dans plusieurs cas, l'influence très forte due au régime de marche de l'appareil. Une même huile employée dans les mêmes appareils fonctionnant d'une manière différente s'altérera avec une vitesse différente ; cette vitesse sera toujours plus réduite, toute condition égale, dans le cas du fonctionnement continu du transformateur que dans le cas d'une marche par intermittence. Cette différence s'explique par le phénomène bien connu de la respiration du transformateur, déterminée par les variations de la température d'échauffement qui provoque un renouvellement de l'air à la surface de l'huile. Nous avons, au début de cet article, exposé l'influence

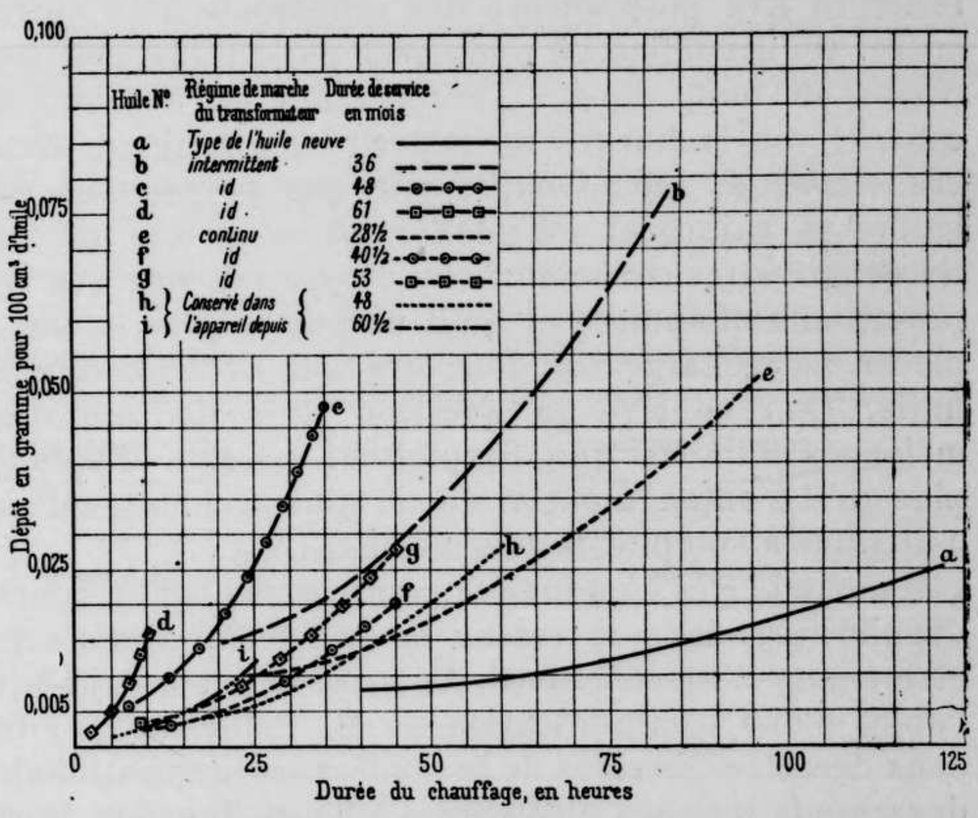


Fig. 11. — Graphique n° 10 : Influence du régime de marche d'un transformateur sur la vitesse de l'altération in vivo d'une huile de transformateur.

capitale de l'aération sur la vitesse d'altération artificielle, que nous retrouvons aussi en pratique. Ceci explique également le fait bien connu de l'altération de l'huile, plus rapide dans les petits transformateurs de distribution que dans les gros appareils des usines électriques et qu'on avait attribué à tort à d'autres causes (faible charge, surveillance moins sévère, etc.). Le tableau X et le graphique 10 donnent quelques cas caractéristiques montrant l'influence du régime de marche sur la vitesse d'altération in vivo.

TABLEAU X (graphique 10). — *Influence du régime de marche du transformateur sur l'augmentation de l'altérabilité de l'huile 8.*

NATURE DU TRANSFORMATEUR	RÉGIME DE MARCHE	DURÉE DU SERVICE en mois.	PREMIÈRE PÉRIODE Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.
Type de l'huile neuve (8).			40 30	0,0080	0,12
5 000 kv-a triphasé 6 500/13 500 v.	Intermittent.	36	20 45	0,015	0,23
		48	7	0,006	0,14
		61	2	0,002	0,09
5 000 kv-a triphasé 70 000/40 000 v.	Continu.	28,5	24	0,010	0,10
		40,5	9	0,0025	0,10
		53	9	0,0035	0,125
75 kv-a triphasé 20 000/230 v.	N'a jamais été en service (effet de conservation).	48	12	0,0035	0,11
		60,5	5	0,0015	0,09

C. Le problème du mélange des huiles. — L'altération in vivo pose encore des problèmes d'un autre ordre. On est obligé de remplacer périodiquement les pertes en huile dues à l'évaporation ou à d'autres causes; ces recharges ne peuvent pas toujours être faites avec la même huile, soit que l'exploitant en ignore sa nature et sa qualité, parce qu'elle lui fut livrée par le constructeur avec l'appareil, soit que sa provision soit épuisée et qu'il ne puisse plus la remplacer. La recharge doit donc être faite avec une autre huile. Ceci soulève la question très délicate des mélanges d'huiles que l'exploitant redoute d'autant plus qu'il a entendu parler de certains accidents qu'on a attribué à l'emploi de tels mélanges.

Une étude très étendue sur ce problème est en cours depuis 1926, dans le réseau de la Société alsacienne et lorraine d'Electricité (S. A. L. E. C.) et a déjà fait l'objet d'une communication de M. Pellissier (1) aux deux dernières sessions de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension. Bien qu'elle ne soit pas encore achevée, nous croyons pouvoir dire que les craintes dont nous parlons ci-dessus, n'ont pas été confirmées jusqu'à présent.

Si nous comparons l'altérabilité d'un mélange de deux huiles neuves avec celle des constituants respectifs purs, nous observons les phénomènes suivants :

Si les deux huiles sont de nature identique, mais représentent divers degrés de stabilité, leur mélange aura une stabilité intermédiaire se rapprochant sensiblement de la moyenne des deux constituants purs. (voir tableau XI et graphique 11). Si par contre les huiles sont de nature différente, par exemple à base paraffinique et à base naphténique, le mélange est plus altérable que le constituant le plus altérable pur. Cependant si nous suivons ces trois huiles en service, les deux constituants purs et leur mélange, et si nous réexaminons leur altérabilité après différentes durées de service, nous constatons que l'altérabilité du

TABLEAU XI (graphique 11). — *Comparaison de l'altérabilité de deux huiles neuves de base identique (naphténique) mais à divers états de raffinage et de leur mélange.*

HUILE	PREMIÈRE PÉRIODE Durée en heures.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	REMARQUES
I	4	0,0010	0,040	Huile à peine raffinée.
II	24	0,00055	0,030	Huile faiblement raffinée.
III	15	0,0015	0,040	Mélange I–II en proportion de 1 : 1.

(1) Emile PELLISSIER; L'emploi dans un transformateur d'un mélange d'huiles de provenances diverses est-il préjudiciable à la bonne marche du tranformateur? Rapport n° 26, présenté à la quatrième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1927), *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 425-429. Rapport n° 71, présenté à la cinquième session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension (1929). *Comptes rendus des Travaux*, t. 1, p. 620-646.

mélange n'a guère changé après un an de service, alors que celle des huiles pures a nettement augmenté, réduisant ainsi sensiblement l'écart existant à l'état

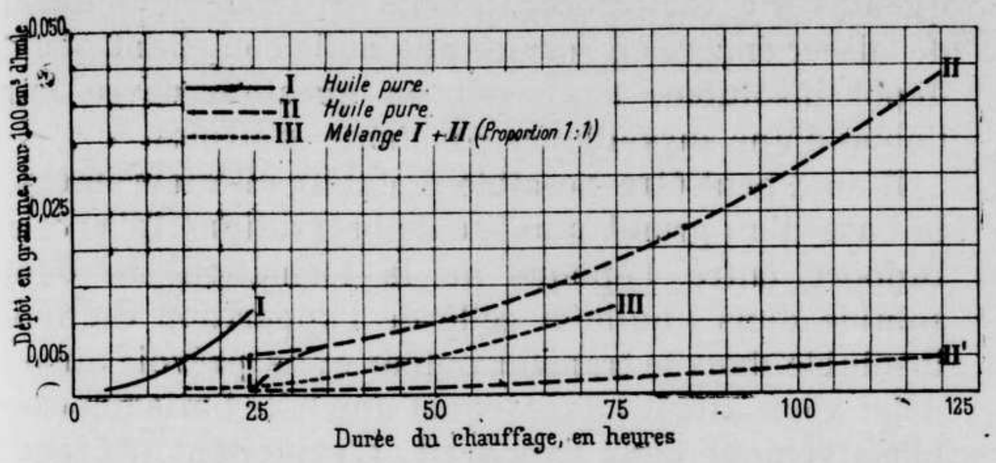


Fig. 12. — Graphique n° 11 : Courbes d'altération de deux huiles neuves, de bases identiques, mais de qualités différentes, et de leur mélange.

neuf entre l'altérabilité du mélange et celle de ses constituants initiaux purs (voir tableau XII et graphique 12). On serait ainsi amené à conclure que le mélange de deux huiles de nature différente détermine un phénomène analogue à celui que nous avons observé pour une huile pure se trouvant dans l'état de sensibilité et produit simplement un décalage de la marche de la réaction. On ne peut cependant pas encore formuler des conclusions très précises à ce sujet avant de connaître les résultats après une durée de service beaucoup plus longue.

Pour ce qui concerne l'influence de la recharge sur la stabilité d'une huile en service, nous croyons pouvoir dire, d'après les observations que nous avons déjà pu

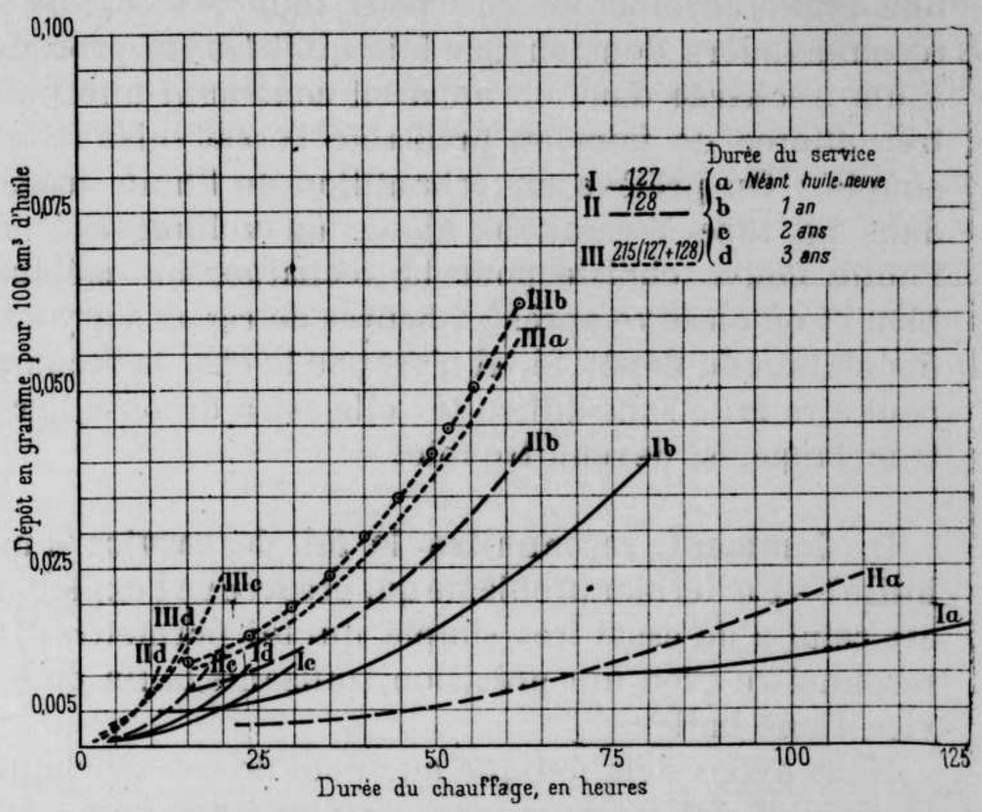


Fig. 13. — Graphique n° 12 : Courbes d'altération de deux huiles de bases différentes et de leur mélange, et après service dans un transformateur de 10 kv-a.

faire, que si l'huile neuve est plus stable que l'huile usagée, la recharge augmentera dans certains cas la stabilité du mélange, dans le cas inverse cette dernière

Tableau XII (graphique 12). — *Comparaison de l'altérabilité de deux huiles neuves de nature différente et de leur mélange, avant et après service dans un transformateur de 10 kilovolts-ampères.*

Durée du service dans un transformateur de 10 kv-a.	Huile 127 (base paraffinique). Première période			Huile 128 (base naphténique). Première période			Huile 215 Mélange (1 : 1) de 127 et 128. Première période		
	Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique	Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.
Néant.	74	0,010	0,15	22	0,003	0,08	15 30	0,011	0,16
1 an	16	0,005	0,16	15 30	0,008	0,13	15 45	0,012	0,10
2 ans	5	0,001	0,008	3	0,0010	0,145	4 15	0,003	0,13
3 ans	4	0,001	0,009	2	0,0010	0,120	3	0,002	0,09

pourra diminuer. Nous avons cependant aussi observé qu'une recharge peu importante n'avait déterminé aucune variation dans la stabilité du mélange produit. On ne peut donc encore rien dire à priori sans avoir examiné chaque cas particulier (1).

D'après nos observations, la proportion dans laquelle le mélange est préparé ne semble guère avoir une influence sensible sur l'altérabilité du mélange.

Dans certains cas la recharge peut créer des ennuis très sérieux. Si l'huile usagée a une période zéro, c'est-à-dire qu'elle contient du dépôt soluble précipitable par l'essence normale, l'addition de certaines huiles neuves à cette huile usagée peut produire une floculation très rapide de ce dépôt soluble et accélérer ainsi la

(1) Voir aussi Rapport n° 71 de E. Pellissier, *Loc. cit.*

formation de dépôt dans l'appareil, qui autrement n'apparaîtra que beaucoup plus tard. Ce phénomène n'est pas général et nous ne pouvons pas encore donner une règle absolue valable pour tous les cas. Il se recommandera donc chaque fois qu'il faudra procéder à une recharge dans un appareil contenant une huile très altérée de faire au préalable l'essai suivant très simple : On prélève un échantillon de l'huile usagée dans un tube à essai, on ajoute un volume égal de l'huile neuve choisie pour la recharge, on mélange bien et on observe après 24 heures de repos s'il y a eu floculation du dépôt. Si tel n'est pas le cas, la recharge peut être faite sans difficulté ; elle est à déconseiller si le mélange est devenu trouble.

D. **Comment reconnaître la fin de service d'une huile?**—Un dernier problème qui préoccupe l'exploitant est celui d'un essai très simple qui lui permettrait de reconnaître avec une précision suffisante la fin de service d'une huile.

Nous avons déjà indiqué au début de cet article que la rigidité diélectrique, que certaines personnes utilisent comme critérium de la qualité de l'huile, constitue uniquement un indice de la pureté physique de l'huile et ne renseigne aucunement sur sa stabilité. L'acidité de l'huile ne constitue pas non plus un critérium général, puisque les huiles de qualité très différente atteignent à la fin de leur service une valeur bien différente de l'acidité. On a proposé toute une série de réactions pour caractériser la fin de service d'une huile (solution concentrée de soude caustique, acide sulfurique dilué, peroxyde de sodium, etc.), mais l'action de ces produits est tout à fait spécifique et les résultats obtenus ne concordent pas toujours avec l'état réel de l'huile.

Il est d'autre part très difficile de trouver un critérium général valable pour tous les cas.

Parmi les deux groupes de produits dont la formation abondante est nuisible pour la vie de l'appareil et pour son bon fonctionnement, le premier, celui des acides, ne se présente jamais en très grande quantité dans des conditions d'emploi normales, et le second, le dépôt, ne produira pas toujours les mêmes inconvénients dans les différents types d'appareils. Dans certains transformateurs on aura intérêt à éliminer l'huile dès qu'il y a formation, même faible, de dépôt; dans d'autres appareils, mieux conçus, la présence d'une faible quantité de dépôt ne gênera guère la bonne marche de l'appareil. Il appartiendra donc en dernier ressort à l'ingénieur de l'exploitation de décider à la base des résultats d'analyse si l'huile doit être échangée ou si elle peut encore continuer son service pendant quelque temps.

Notre méthode permet nettement de reconnaître d'abord le moment où l'huile commence à former du dépôt soluble, lorsque la période sera tombée à zéro sans modifier l'allure de la courbe d'altération et ensuite le moment où le dépôt commence à apparaître dans le transformateur, par le changement de la courbe en une droite. Lorsqu'une huile aura atteint cet état, la formation de dépôt se poursuivra d'une manière continue et des épurations même très fréquentes n'y remédieront guère. Si l'ingénieur décide de laisser encore en service une huile contenant peu de dépôt insoluble, l'appareil en question devra faire l'objet d'une surveillance constante et étroite.

Il sera peut-être possible d'établir ultérieurement à la base d'un grand nombre d'observations in vivo un rapport entre l'époque de la formation du dépôt soluble dans l'huile et celle de l'apparition du dépôt insoluble dans le transformateur et de prévoir ainsi le délai approximatif dans lequel une telle huile déposera effectivement dans l'appareil. L'exploitant prévenu à temps pourra alors prendre ses dispositions et éviter des dégâts matériels.

VIII. **La valeur de notre essai d'altération et les perfectionnements à attendre.** — Nous avons indiqué dans cet article les phénomènes qui prennent place dans l'huile durant son service et comment on peut à l'heure actuelle les suivre par un essai de laboratoire. Il est intéressant de signaler ici trois faits qui parlent en faveur de cet essai :

a) Pour des huiles identiques qui nous furent adressées sous forme anonyme à différentes époques et par différentes firmes, nous avons trouvé des résultats pratiquement identiques; nous en publions quelques cas dans le tableau XIII.

TABLEAU XIII. — *Comparaison des résultats d'essais d'altération effectués sur des huiles identiques, mais envoyées sous forme anonyme à différentes époques et par différentes firmes.*

HUILE N°	ÉPOQUE D'ENVOI	PREMIÈRE PÉRIODE			REMARQUES
		Durée en heures.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	
153	Juillet 1927.	17	0,0020	0,100	Même marque et qualité.
157	Août 1927.	18	0,0020	0,080	
408	Mars 1929.	24	0,0025	0,050	
547	Novembre 1929.	15	0,0035	0,105	
548		15	0,0025	0,095	
688	Mars 1930.	15	0,0025	0,065	
361	Octobre 1928.	48	0,0010	0,070	id.
550	Décembre 1929.	40	0,0009	0,095	
386	Février 1929.	40	0,0070	0,19	id.
392		40	0,0070	0,23	
387	Février 1929.	40	0,0020	0,080	id.
394		40	0,0025	0,120	
405	Mars 1929.	48	0,0040	0,145	

b) La méthode classe les huiles en fonction de la durée de service : elle fournit des résultats identiques pour une même huile employée dans divers appareils fonctionnant dans des conditions assez semblables

pendant un temps identique. Les résultats figurant dans le tableau XIV et le graphique 13 le confirment.

TABLEAU XIV (graphique 13). — *Augmentation de l'altérabilité de l'huile 286 en fonction de la durée de service dans trois transformateurs de 180 kilovolts-ampères.*

APRÈS UNE DURÉE de service de mois.	PREMIÈRE PÉRIODE		
	Durée en heures.	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.
Néant.	15	0,0055	0,125
6,5	15	0,0055	0,130
14	10	0,006	0,160
15	6	0,0030	0,230
19	6	0,005	0,265
23,5	3	0,0025	0,23
23,5	3	0,0020	0,110
27,5	3	0,0025	0,215
32,5	2	0,0045	0,195
36,5	2	0,0050	0,210

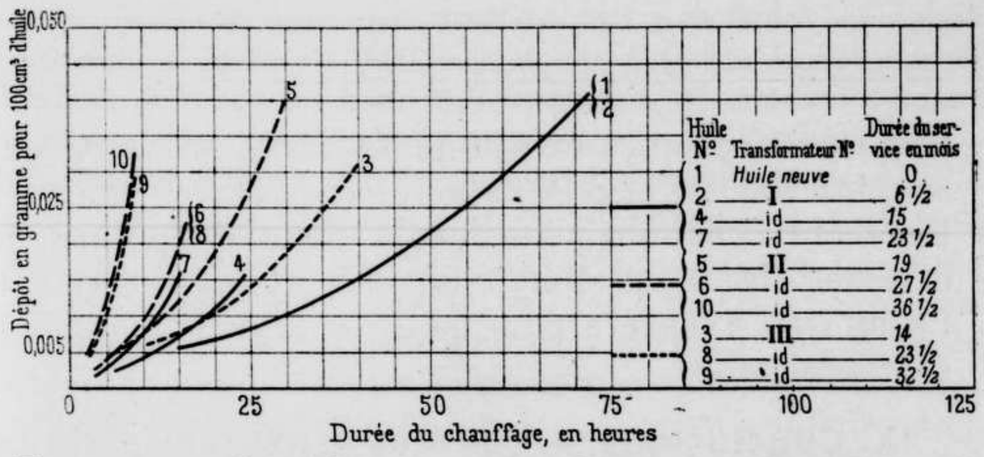


Fig. 14. — Graphique n° 13 : Courbes d'altération de l'huile 286 en fonction de sa durée de service dans trois transformateurs de 180 kv-a.

Il s'agit là de trois transformateurs de 180 kv-a fonctionnant dans des conditions assez semblables dans le réseau de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité et qui contiennent la même huile. Des échantillons furent prélevés périodiquement et analysés. Le résultat obtenu dans deux appareils différents après une durée de service identique était toujours sensiblement le même. Le graphique 13 reproduisant les courbes d'altération en fonction de la durée du service montre d'ailleurs très nettement que l'augmentation de l'altérabilité en fonction de la durée du service n'est pas constante et qu'elle varie suivant le rythme exposé dans un chapitre antérieur.

c) Des huiles classées initialement par notre essai comme de qualités différentes et subissant une altération in vivo dans des conditions assez semblables restent aussi différentes après 1, 2 et 3 ans de service, comme le tableau XV et le graphique 14 le montrent. Ces

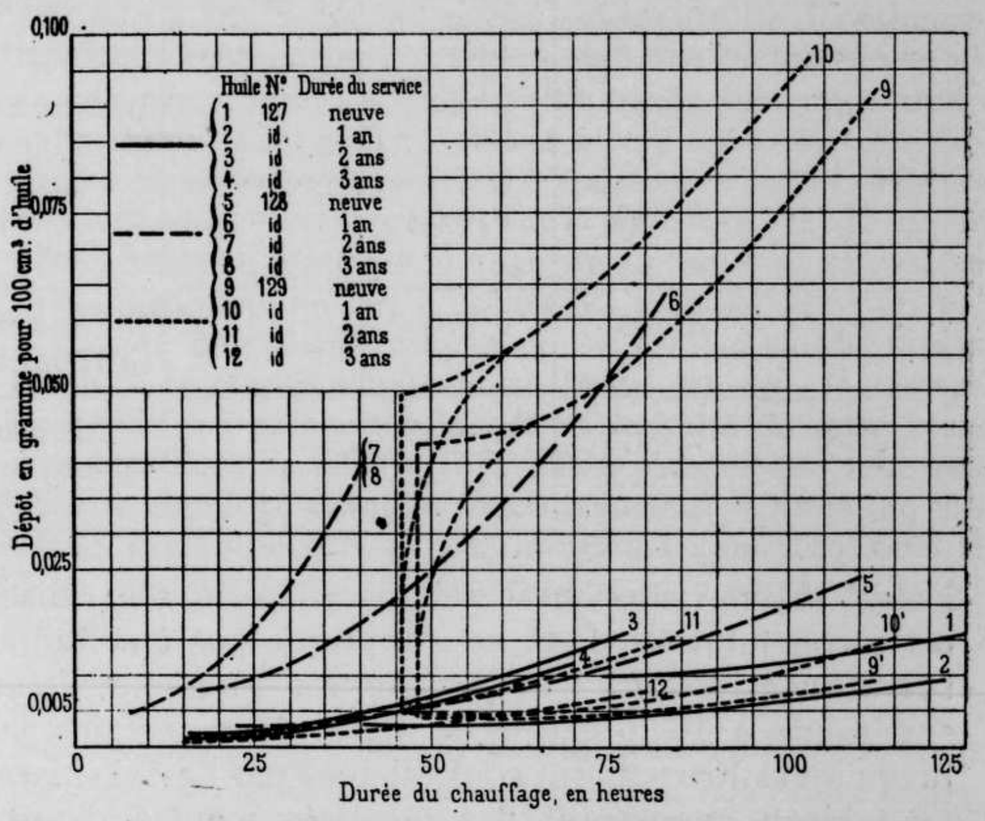


Fig. 15. — Graphique n° 14 : Comparaison de courbes d'altération de trois huiles, de qualités différentes, avant et après service dans un transformateur de 75 kv-a.

TABLEAU XV (graphique 14). — *Comparaison de l'altérabilité de trois huiles, de qualité différente, avant et après service dans un transformateur de 75 kilovolts-ampères.*

DURÉE DU SERVICE en ans.	HUILE 127			HUILE 128			HUILE 129 (surraffinée).		
	PREMIÈRE PÉRIODE			PREMIÈRE PÉRIODE			PREMIÈRE PÉRIODE		
	Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.	Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 00 d'acide oléique.	Durée h mn	Dépôt en grammes pour 100 cm³ d'huile.	Acidité organique en pour 100 d'acide oléique.
Néant.	74	0,010	0,15	22	0,003	0,08	48	0,043	0,55
1	40 30	0,003	0,06	16 20	0,008	0,15	46	0,0050	0,13
2	15 30 (1)	0,002	0,07	8	0,005	0,145	17 (1)	0,002	0,06
3	14	0,0015	0,08	8	0,005	0,16	16	0,0010	0,08

(1) Une recharge avec l'huile neuve identique fut faite après ce prélèvement.

résultats furent confirmés encore dans d'autres cas.

Nous publions finalement dans le tableau XVI quelques résultats obtenus simultanément suivant notre essai et celui de Brown Boveri, appliqué par certaines maisons françaises. Ces résultats semblent démontrer qu'une huile donnant dans notre essai une période égale ou supérieure à 15 heures serait acceptée par

TABLEAU XVI. — *Comparaison des résultats d'essais d'altération effectués, suivant la méthode H. Weiss et T. Salomon et la méthode suisse, dans deux laboratoires différents.*

HUILE N°	MÉTHODE H. WEISS et T. SALOMON			MÉTHODE SUISSE B. B. C.					
	PREMIÈRE PÉRIODE			APRÈS UN CHAUFFAGE D'UNE SEMAINE			APRÈS UN CHAUFFAGE DE DEUX SEMAINES		
	Acidité.	Dépôt.	Durée en heures.	Essai au coton.	Acidité.	Dépôt.	Essai au coton.	Acidité.	Dépôt.
361	0,125	0,0010	48	Diminution 5 pour 100	0,005	Néant.	Diminution 9 pour 100	0,025	Néant.
362	0,085	0,0014	36	Diminution 4 pour 100	0,005	Néant.	Diminution 15 pour 100	0,025	Néant.
547	0,105	0,0035	15	Diminution 10,5 pour 100	0,040	Néant.	Diminution 20 pour 100	0,13	Néant. Traces.
548	0,0970	0,0025	15	Diminution 9 pour 100	0,048	Néant.	Diminution 26,5 pour 100	0,097	Néant.

l'essai suisse, sans qu'il soit possible de généraliser cette constatation. Ceci ne s'applique pas aux huiles surraffinées, malgré leur période très longue, égale ou supérieure à 30-36 heures et allant dans certains cas jusqu'à 112 heures, qui sont rejetées par l'essai suisse. Le tableau comparatif des résultats montre d'autre part que notre méthode permet une différenciation plus grande des natures d'huiles, en distinguant les huiles faiblement raffinées des huiles normalement raffinées (voir 362 et 361) qui ont donné pratiquement le même résultat dans l'essai suisse.

Cependant nous sommes loin de considérer notre tâche comme achevée et nous ne croyons pas que notre essai dans sa forme actuelle constitue le dernier degré de perfectionnement. Nous croyons au contraire qu'on pourra encore le perfectionner par la suite et qu'il y aura même intérêt à le modifier de manière à abaisser la température d'essai à celle correspondant à la température maximum réalisée dans le transformateur. Or ce que nous avons exposé dans le chapitre IV-B sur l'influence des facteurs d'altération ne nous permet pas d'espérer qu'on puisse réaliser à une température aussi basse un essai suffisamment rapide conçu sur les mêmes principes que notre essai actuel. Les perfectionnements que nous visons ne pourront être trouvés que dans la recherche d'autres critériums susceptibles de nous renseigner sur les changements qui prennent place dans l'huile au cours de son service avant l'apparition du dépôt, c'est-à-dire durant sa première période. Parmi les caractéristiques dont les variations au cours de l'altération pourront éventuellement constituer les indices recherchés, nous signalons le changement des propriétés optiques de l'huile, la variation de la tension interfaciale et celle de la résistivité électrique, etc. Des recherches sont actuellement poursuivies dans ces diverses directions, mais elles ne sont pas encore suffisamment avancées pour pouvoir faire l'objet d'une communication.

IX. **Conclusions.** — Que peut on conclure, après cet exposé des phénomènes de l'altération in vivo, pour l'exploitant qui désire surtout connaître les considérations sur lesquelles il doit baser le choix de l'huile pour transformateur ?

Il y a quatre facteurs dominants dans le choix d'une huile : la *viscosité* qui est cependant intimement liée à la volatilité de l'huile, le *point de congélation* qui sera différent suivant la situation géographique et importera surtout pour les appareils placés en plein air, et l'*altérabilité*. Les limites choisies pour cette dernière devront tenir compte de la construction de l'appareil et de son importance pour l'exploitation. Un quatrième facteur enfin peut résider dans la *variation de certaines propriétés électriques* de l'huile ; ces dernières sont encore trop peu étudiées pour pouvoir dès à présent servir de critérium.

Il n'est cependant pas possible de donner un schéma général des conditions à imposer qui serait valable dans tous les cas. Les cas qui se présentent en pratique sont trop variés. Il appartient à l'industriel de faire une sélection appropriée en collaboration étroite avec le laboratoire.

H. WEISS et T. SALOMON,
de l'École nationale supérieure du Pétrole
et des Combustibles liquides de Strasbourg.

Revues, analyses et informations

Essais à 220000 volts d'interrupteurs à grilles « deïon » (1).

1. Introduction. — Poursuivant ses essais sur les interrupteurs dans l'huile munis de grilles « deïon », la Westinghouse electric and Manufacturing Company, après avoir expérimenté sur des appareils à 66000 et 110000 v (2), a attaqué le problème dans le cas d'un interrupteur à 220000 v. Ces essais eurent lieu en collaboration avec la Philadelphie electric Company, à la sous-station de Plymouth où on disposait d'une puissance de 500000 kw.

L'interrupteur expérimenté était du type Westinghouse G-22-S dont les contacts étaient pourvus de grilles deïon. Le mécanisme de déclenchement n'avait subi que de très légères modifications et sa manœuvre était commandée par un relais ultrarapide fonctionnant en 0,003 seconde.

2. Première série d'essais. — En désignant respectivement par les lettres O et F les termes ouverture et fermeture de l'interrupteur, il fut d'abord procédé à 12 essais suivant le cycle de fonctionnement F-O sur court-circuit entre ligne et terre avec des intensités de courant variant de 1 100 à 2 900 A suivis de quatre cycles O-F-O sur court-circuit entre ligne et terre et avec un courant de 2 900 A. La seule indication extérieure du fonctionnement de l'appareil fut une légère émission de fumée par les évents. La durée totale de ces douze essais fut de moins de deux heures. En déduisant le temps de fonctionnement du relais, la durée moyenne d'un court-circuit a été de 7,56 périodes du courant, celle de l'arc étant de 2,84 périodes avec un minimum de 2 et un maximum de 4,5 périodes. En vue d'obtenir des renseignements pour des tensions plus élevées, il fut procédé à quatre essais suivant le cycle de fonctionnement F-O suivis d'un cycle O-F-O sous 220000 v sur un seul pôle. Aucune anomalie ne fut remarquée lors des quatre premiers essais, mais au cinquième on constata les signes d'un arc plus long dû à l'établissement d'un arc entre les bornes supérieures et la traverse des contacts mobiles résultant d'un isolement insuffisant des premières pour cette tension. Par ailleurs, les grilles elles-mêmes étaient en parfait état. Quant à la tension disruptive de l'huile avant et après ces essais elle était caractérisée, pour deux prélèvements, par les valeurs de 28,2 et 27,3 kv avant les essais et de 24 et 25,6 kv après les essais, dans les mêmes conditions de mesures, ce qui met en évidence la valeur du procédé de coupure de l'arc.

A la suite de ces essais, quelques légères modifications furent apportées au dispositif, du fait que le fonctionnement sur court-circuit entre phases n'avait pas été entièrement satisfaisant. Il fut alors procédé à une série de huit essais suivant le cycle F-O sur court-circuit entre ligne et terre avec des courants de 1 100 à 3 300 A, suivis d'un essai d'après le cycle O-F-O sur court-circuit entre phases avec une intensité de courant de 2 200 A. Le même défaut déjà signalé fut constaté lors de ce dernier essai.

On décida donc d'apporter des modifications plus importantes aux grilles, puis de reprendre les essais.

3. Deuxième série d'essais. — Elle a comporté d'abord douze essais suivant le cycle F-O, sur court-circuit entre ligne et terre, l'intensité du courant variant de 1 100 à 2 200 et 3 300 A, suivis de quatre essais suivant le cycle O-F-O dans les mêmes conditions et avec une intensité de courant de 3 300 A. La seule indication extérieure du fonctionnement de l'appareil fut une légère émission de fumée par un évent. Alors furent effectués sept essais sur court-circuit entre lignes, dont quatre suivant le cycle F-O et trois suivant le cycle O-F-O à 2 200 A. Le fonctionnement de l'interrupteur s'est révélé satisfaisant pour les six premiers essais, mais au septième la quantité de fumée augmenta en même temps qu'un peu d'huile était projetée à l'extérieur. L'examen de l'oscillogramme de cet essai a montré que la coupure du circuit s'était effectuée un peu plus lentement que dans les essais précédents. A la suite de cette série d'essais, l'examen des grilles deïon montra que leur état était le même qu'avant le fonctionnement. L'huile, de son côté, n'avait subi aucune détérioration, les nombres relatifs à sa tension disruptive étant même plus élevés qu'avant l'essai.

Ces essais ont donc prouvé la valeur du dispositif de ces grilles pour l'interruption en charge des circuits à très haute tension; ils ont montré que les interrupteurs ainsi équipés permettent de satisfaire aux conditions de stabilité des réseaux de transmission d'énergie électrique. Leur vitesse de coupure d'un circuit qui, avec le dispositif essayé, était de l'ordre de 10 à 12 périodes peut être ramenée à 7 ou 8 périodes au prix d'une légère augmentation du prix de l'appareil. Des vitesses plus grandes peuvent même être obtenues si les circonstances l'exigent, à condition toutefois que la modification correspondante soit justifiée au point de vue économique. — J. S.

(1) L.-W. Dyer. *Electrical World*, 26 avril 1930, t. xcv, p. 847-848, 1 500 mots, 6 figures, 2 tableaux.

(2) L.-W. Dyer. *Electrical World*, 19 avril 1930, t. xcv, p. 786-792; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 21 juin 1930, t. xxvii, p. 998-1 000.

La station de pompage du lac d'Artouste (1).

1. Introduction. — Le lac d'Artouste, situé aux confins des Hautes-Pyrénées et des Basses-Pyrénées, est régulièrement alimenté par des versants particulièrement neigeux. Il est situé à la cote de 1 790 m et s'étend sur une superficie de 48 hectares; par son importance et son emplacement, il constitue un accumulateur d'eau remarquable dont la Compagnie des Chemins de fer du Midi a tiré tout le parti possible pour l'alimentation en eau de ses usines de la vallée d'Ossau.

Par la construction d'un barrage de dimensions assez réduites, on a pu accroître fortement le volume de l'eau accumulée, soit 23 millions de mètres cubes. Cette eau est utilisée, sous une hauteur de chute de 750 m environ, d'abord pour l'usine d'Artouste (exclusivement alimentée par le lac), puis sous une nouvelle hauteur de chute de 380 m pour l'usine de Miegebat (l'eau du lac s'ajoutant à celle du gave d'Ossau) et enfin après une nouvelle chute de 200 m, pour l'usine du Hourat qui est alimentée de la même manière que la précédente.

(1) L. Combebiac. *Bulletin technique de la Société Rateau*, octobre 1929, n° 143, p. 3-13, 4 000 mots, 13 figures.

Un assez grand nombre de ruisseaux qui prennent naissance sur le versant de la rive gauche ont été captés et conduits par tunnels jusqu'au canal d'amenée des eaux de l'usine d'Artouste. En effet, ces affluents n'ont pu être captés qu'à un niveau inférieur à celui des eaux du lac et on a dû se contenter de les amener au niveau inférieur en utilisant, pour les renvoyer dans le lac, une station de pompage à groupes électriques. Afin de simplifier l'installation, on s'est servi, comme puisard d'aspiration de cette station, du canal d'amenée lui-même en l'obturant à 4 km environ du barrage.

Cette obturation de retenue est tout à fait particulière, car elle devait pouvoir permettre :

1° D'assurer le libre passage des eaux vers l'usine en dehors des heures de pompage;

2° De réserver la possibilité de mettre l'usine en service à un moment quelconque suivant la demande du réseau de transmission d'énergie;

3° De pallier à un déversement accidentel des eaux pendant des travaux de réparation ou d'entretien du canal.

Un dispositif d'obturation à double vanne, avec déversoir longitudinal de réglage a permis de satisfaire entièrement à ces exigences.

2. Description de la station de pompage. — La station a été établie à l'extrémité même de la chambre de rupture de charge. Son logement a été percé à la dynamite dans le cœur même du rocher. Elle mesure environ 19 m de longueur et 8 m de largeur; son plancher se trouve à la cote de 1 923 m et son rôle consiste à élever l'eau provenant des diverses adductions au-dessus du niveau le plus élevé du lac, soit à la cote de 1 992 m.

La hauteur d'élévation de l'eau est donc de 80 m. Le débit, qui varie suivant les périodes de l'année, oscille entre 200 l : s et 1 000 l : s.

Pour réaliser ce programme, on a installé quatre groupes de pompes système Rateau avec moteur électrique, constitués chacun par une pompe centrifuge à axe horizontal accouplée à un moteur asynchrone de 475 ch. Ces groupes tournent à la vitesse de 970 t : mn et l'accouplement entre pompe et moteur est obtenu par un manchon DEM à embrayage automatique.

Les caractéristiques de ces pompes sont les suivantes : débit, 1 100 m^3 : h; hauteur d'aspiration, 3 m; hauteur de refoulement, 80 m; puissance absorbée, 400 ch; rendement mécanique, 0,80

Sur le corps de chaque pompe est installé un dispositif de contrôle avec indicateur de vide et manomètre. Ce dernier est muni d'un contact électrique dans le but de mettre en fonctionnement une sonnerie d'alarme placée dans la chambre de garde, située 75 m plus haut, dans le cas où les pompes viendraient à s'arrêter accidentellement.

La tuyauterie d'aspiration, qui est particulière à chaque pompe, ne comporte pas de clapet à sa partie inférieure; elle est simplement terminée par un pavillon évasé destiné à guider les filets liquides. Comme, dans ces conditions, l'amorçage serait impossible, il est prévu pour cette opération un petit groupe moteur-pompe à piston, qui permet de le réaliser en une dizaine de minutes.

Les groupes de cette station de pompage sont placés dans des conditions assez défectueuses. Installés dans le rocher, à une grande altitude et sans aération, ils sont particulièrement exposés à l'humidité. De plus, ils peuvent ne fonctionner que quelques heures par an, sans qu'on puisse procéder à leur entretien pendant les périodes d'inutilisation. Il a donc fallu avoir recours à du matériel particulièrement robuste, non seulement pour les pompes et les moteurs, mais encore pour l'appareillage électrique de démarrage.

En raison des dimensions très réduites de la chambre de pompage, le problème de l'installation de quatre groupes de 4 m de longueur sur 1,90 m de largeur et d'un groupe auxiliaire de même longueur présentait quelques difficultés, d'autant plus qu'il convenait de ne pas compliquer exagérément les tuyauteries. On est arrivé à une solution satisfaisante en disposant les groupes sur une seule ligne, parallèlement les uns aux autres, mais enclavés par rapport aux axes de la salle.

La pompe de démarrage est en tête et permet l'aspiration dans la canalisation de la première pompe principale qui, une fois en fonctionnement, produit l'aspiration dans la tuyauterie de la seconde et ainsi de suite.

Le collecteur de refoulement de la station a un diamètre intérieur de 500 mm; son développement est de 110 m et il débouche, à la partie supérieure, par un palier horizontal.

Le montage de l'installation a également présenté de grandes difficultés; il a dû être exécuté, en effet, très rapidement et à une période où les moyens de communication entre l'usine d'Artouste et le lac étaient absolument impraticables à cause de la neige. Il a fallu utiliser pour le transport un premier câble téléférique de 8 t et 800 m de longueur et un second de 4 t et 400 m, puis un chemin en corniche taillé dans le rocher, d'une longueur de 12 km et particulièrement dangereux en raison des précipices qu'il domine. Pour le passage sur les transporteurs à câble il a d'ailleurs fallu procéder au démontage des pompes dont le poids était bien supérieur à la charge maximum admissible sur le deuxième transbordeur.

3. Alimentation de la station. — Le courant alimentant les groupes est fourni par un poste de transformation placé à l'extérieur. Ce poste reçoit l'énergie électrique à la tension de 10 000 v et la transforme en énergie à 290 v. Il contient quatre transformateurs triphasés à bain d'huile, d'une puissance individuelle de 550 kw. Deux autres transformateurs, de 50 kw chacun, sont utilisés pour l'éclairage et les services auxiliaires.

4. Intérêt pratique de la station. — Pendant les heures de pompage, la station permet de récupérer un volume d'eau évalué à environ 6 millions de mètres cubes par an, volume qui, autrement, aurait été absolument perdu, les usines inférieures ne pouvant pas, à cette époque de l'année, en trouver l'utilisation.

La quantité d'énergie absorbée pour l'élévation de l'eau récupérée est par ailleurs absolument négligeable, car le pompage a lieu à un moment où les usines disposent d'importants excédents d'énergie difficiles à écouler.

La Compagnie des Chemins de fer du Midi estime que la quantité d'énergie récupérée annuellement grâce à l'existence de cette station de pompage est de l'ordre de 12 millions 700 000 kw-h. La charge financière annuelle étant de 600 000 fr, le prix de revient brut de l'énergie récupérée peut donc être évalué sensiblement à 0,047 fr par kilowatt-heure, ce qui est un prix certainement avantageux. — B. E.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

Quelques considérations économiques et financières sur la situation de l'industrie française.

A l'assemblée générale des actionnaires de la Compagnie générale d'Electricité, qui s'est tenue le 21 mai 1930, M. Pierre Azaria, président du conseil d'administration, a, comme à chacune des assemblées antérieures (1), prononcé un important discours dans lequel sont exposés les principaux faits économiques survenus au cours de l'année 1929, ainsi que les conséquences qu'il est possible d'en déduire au sujet de l'évolution de l'économie française. Nous reproduisons ci-dessous la majeure partie de ce discours.

1. Le cuivre. — C'est la politique de restriction qui s'est tout naturellement imposée aux producteurs syndiqués du cuivre.

Je vous ai longuement parlé, l'année dernière, du métal rouge, dont la Compagnie générale d'Electricité transforme annuellement en ses usines quelque 20 000 t; le chiffre d'affaires correspondant a dépassé 300 millions de francs en 1929.

Après la rapide montée des cours du cuivre électrolytique de 13 à 24 cents, niveau manifestement exagéré, vous vous rappelez qu'une chute brusque s'était produite jusqu'au prix de 18 cents par livre aux Etats-Unis. La hausse ininterrompue avait suscité de nombreuses demandes de la clientèle, la baisse brusque les avait complètement taries.

Depuis lors, le ferme maintien pendant une année du cours de 18 cents, instauré en avril 1929, a apaisé le mécontentement et la méfiance de la clientèle; les affaires ont repris normalement, sans toutefois avoir atteint le niveau très élevé des premiers mois de l'année dernière. Ce cours était encore excessif; il a permis à l'Anaconda Copper de tripler ses bénéfices en un an : 69 millions de dollars en 1929 contre 24 millions en 1928 !

Il est évident que l'intérêt des maisons qui, comme la nôtre, transforment le métal soit pur, soit sous forme d'alliages, tels que le bronze et le laiton, est dans la stabilité des cours. C'est à tort que l'on parle constamment d'une lutte entre le producteur et le consommateur de cuivre; cette lutte n'existe pas, car le transformateur, qui est de beaucoup le plus important consommateur direct de métal rouge, souffre de la baisse, sous une forme ou sous une autre. Il ne proteste que devant des manœuvres inopportunes et maladroites, comme celles auxquelles nous avons assisté l'an dernier, dont l'effet est de diminuer, à titre provisoire ou définitif, l'emploi des produits finis.

Or, malgré les efforts faits pour restreindre la production, elle s'est encore accrue de 300 000 t en 1929, alors que la consommation, par suite de la crise mondiale, restait en deçà de ce qu'elle avait été.

Des stocks se sont donc constitués, qui représentent à l'heure actuelle, rien qu'en blister et en cuivre électrolytique, plus de 600 000 t; en admettant un prix moyen de revient de 8 cents par livre pour l'ensemble des mines coalisées, ces stocks représentent plus de 100 millions de dollars, ou 2 500 millions de francs.

Cet effort financier a dû inquiéter et lasser les adhérents de la Copper Export, car, le 15 avril dernier, le cours officiel du trust a été brusquement abaissé de 18 à 14 cents.

Il est amusant de constater qu'à l'assemblée générale du Rio-Tinto, tenue la veille, il avait été certifié aux actionnaires que les perspectives mondiales étaient telles qu'une baisse du cuivre n'était pas à envisager.

C'est aussi ce qu'affirmaient énergiquement les producteurs américains : une fois de plus, ils ont manqué de clairvoyance et de loyauté.

Le prix de 14 cents n'ayant pas stimulé la demande a été, en effet, abaissé à 12,5 cents. Nous voici revenus au point de départ.

Admirez la manœuvre qui a suivi cette décision.

De 12,5 cents, le prix est vite relevé à 13, et alors qu'en avril, les stocks s'accroissent encore de 47 000 t, le trust ne vend qu'au compte-gouttes, comme s'il y avait disette de métal ! Il refuse des commandes ! Il veut dérouter et affoler les acheteurs.

Ceux-là s'indignent qui assistaient pour la première fois à de pareilles manœuvres; les autres sourient, en songeant au résultat qu'elles ont donné dans le passé.

Quoi qu'il en soit, la prudence la plus élémentaire doit inciter le consommateur à ne couvrir ses besoins qu'en raison de ses propres ventes et dans la mesure nécessitée par le fonctionnement des usines.

Pour ce qui est de l'avenir plus lointain, l'entrée en jeu des seules mines récemment découvertes dans l'Afrique du Sud et dans l'Afrique centrale entraînera, d'ici quelques années, une surproduction considérable : il faudrait, pour la contre-balancer, un accroissement parallèle de la consommation, joint à l'épuisement d'un certain nombre de mines actuellement en exploitation.

2. Le péril américain subsiste. — Je vous ai parlé plusieurs fois du péril américain auquel l'Europe est exposée; ce péril subsiste plus sérieux que jamais.

Il ne faudrait pas croire, en effet, que la dure épreuve subie par la Bourse de New-York nous permette désormais de poursuivre notre destinée en toute quiétude.

C'est là une éclipse passagère, n'ayant d'ailleurs atteint que dans une mesure restreinte les grands organismes financiers et économiques qui mènent le jeu.

Songeons, tout d'abord, que cette crise a également touché l'Europe et qu'à l'exception de la France, dont la politique économique, faite de prudence et de mesure, a évité les gros

(1) P. Azaria; La situation économique et financière de la France. *Revue générale de l'Electricité*, 19 janvier 1924, t. xv, p. 113-116.

P. Azaria; Quelques considérations sur la situation de l'industrie électrique française. *Revue générale de l'Electricité*, 7 juillet 1928, t. xxiv, p. 43-45 et 1er juin 1929, t. xxv, p. 869-872.

écueils — politique mesquine, disent les Américains — les situations relatives de l'Amérique et de l'Europe n'ont guère varié.

Dans l'ordre financier, la concentration des grands établissements bancaires a fait de nouveaux progrès, et je me bornerai à vous citer, à cet égard, la fusion qui vient de s'opérer entre la Chase Bank, l'Equitable Trust et l'Interstate Trust.

La Chase national Bank of New-York, au capital de 148 millions de dollars, qui en est résultée, dispose en capital et réserves de 493 millions de dollars et en comptes de dépôts de 2 080 millions de dollars.

C'est aujourd'hui la plus grande banque du monde; elle a détrôné la National City Bank de New-York, qui passe au deuxième rang, et la Midland Bank de Londres, qui n'occupe plus que le troisième rang.

Dans l'ordre économique, l'emprise américaine s'est exercée avec succès dans la puissante industrie électrique allemande.

C'est ainsi que, des deux plus grandes maisons allemandes de constructions électriques, l'une est, peut-on dire, passée sous le contrôle du groupe de la General electric Company; l'autre, qui avait toujours manifesté des sentiments ouvertement hostiles à des emprises extérieures, est maintenant en liaison étroite avec le même groupe, devenu son créancier pour 10 millions de dollars de « participating debentures » émises aux Etats-Unis, titres sans droit de vote, il est vrai, mais participant aux bénéfices.

Il est singulier de penser que, si, comme il est souhaitable, un accord économique franco-allemand venait à se produire, ce serait peut-être sous le signe U. S. A. qu'il verrait le jour.

Il y a là pour l'industrie française un réel danger : chaque fois que la vente du matériel américain sera rendue impossible par des circonstances déterminées, nous nous heurterons à la concurrence allemande, financièrement appuyée par les Américains.

Nous avons d'ailleurs déjà commencé à subir assez durement cette concurrence directe ou indirecte, comme le montrent les statistiques concernant le matériel électrique, qui viennent d'être publiées par les Douanes françaises. Nos exportations ont, en effet, subi en 1929 une diminution sensible, tandis qu'augmentaient nos importations; la balance commerciale est devenue déficitaire, alors qu'elle nous avait été favorable depuis plusieurs années.

Je dois ajouter que l'intervention des capitaux américains n'est pas seule en cause; plusieurs parmi nos plus puissantes affaires de construction de matériel électrique ne peuvent exercer librement leur activité à l'étranger, parce qu'elles sont liées par des engagements qu'elles ont dû prendre dès leur création ou ultérieurement.

Tel n'est pas le cas de la Compagnie générale d'Electricité; aussi a-t-elle vu, en 1929, ses exportations progresser de 15 pour 100 par rapport à l'année 1928, qui avait elle-même enregistré une notable plus-value. Mais nous ne fabriquons pas le gros matériel producteur d'énergie, c'est-à-dire le turboalternateur et cela limite singulièrement notre champ d'action.

Ces considérations générales doivent concentrer notre attention sur le plus puissant remède au mal dont souffrent les pays producteurs de l'Europe.

Ce remède est en nous-mêmes, mais il est malheureusement à lointaine échéance.

Tant que l'Europe restera ce qu'elle est, un continent divisé à l'extrême, comptant les nations dont la culture et la civilisation atteignent le plus haut degré du monde, à côté de peuples mal dégrossis, de mentalité primaire et d'une capacité d'achat médiocre, le mal ne fera qu'empirer.

Fragmentée, l'Europe restera à la merci de la finance américaine; mais lorsque, dans un avenir sans doute lointain, elle sera économiquement unie, lorsque ces multiples barrières que constitue la douane et dont l'existence est aussi absurde dans un continent que celle de l'octroi dans un pays, auront été abattues, elle pourra efficacement se défendre et reprendre la place qu'elle occupait avant la guerre.

En attendant la réalisation — vers laquelle on s'achemine lentement — de ce qui n'est encore qu'un rêve, la France doit porter tous ses efforts vers l'accroissement de son marché intérieur.

Un réel progrès est ici à enregistrer.

Pays économiquement conservateur, il est plus lent que d'autres, sinon à imaginer, du moins à pratiquer les idées nouvelles et hardies.

C'est ainsi que la concentration, l'organisation rationnelle du travail, conçues peut-être en France, n'ont eu jusqu'à présent leur plein succès qu'à l'étranger, principalement aux Etats-Unis et en Allemagne.

Si j'attache à ces idées une importance qui pourra paraître excessive, c'est qu'elles doivent avoir pour but et qu'elles ont pour résultat de permettre un abaissement des prix de revient, en même temps qu'une hausse des salaires, seul moyen efficace d'augmenter la puissance d'achat de la masse.

Notre pays est mi-agricole, mi-industriel et cela est fort heureux; il est de population moyenne, puisqu'il ne compte que quarante millions d'habitants; si notre empire colonial est vaste avec ses soixante millions d'âmes, ses besoins sont encore modestes et ne pourront s'accroître qu'avec le temps.

Il n'y a donc pas à craindre chez nous ces excès du taylorisme qui ont atteint, aux Etats-Unis, une expression assez forte pour soulever, parmi des observateurs qualifiés, des critiques véhémentes.

C'est en développant notre marché intérieur et nos marchés mondiaux que nous pourrons résister victorieusement à la poussée germano-américaine et cela n'est possible qu'avec la hausse des salaires qui, en créant des excédents de ressources, permet des surcroîts de dépenses. L'antidote est dans la concentration des entreprises similaires, dans leur organisation rationnelle, lesquelles ne sont efficientes que dans les entreprises présentant assez d'envergure pour supporter les dépenses considérables qu'elles entraînent.

L'organisation méthodique de l'industrie s'impose avec une telle évidence que les Anglais eux-mêmes, si lents à s'émouvoir, en ressentent aujourd'hui l'impérieuse nécessité.

C'est ainsi que le gouvernement anglais, cependant socialiste, vient d'annoncer la création d'une banque pour assister l'industrie; la forme choisie est celle d'une société au capital nominal de 6 millions de livres sterling, soit 750 millions de francs, dont l'objet est précisément de permettre la réalisation « des projets soumis par les industries dans un but de rationalisation ».

C'est le gouverneur de la Banque d'Angleterre qui présidera aux destinées du nouvel organisme; c'est dire l'importance qu'y attache le gouvernement.

Si la concentration, la standardisation, le taylorisme, la rationalisation, — mots barbares qui n'en désignent pas moins un ensemble harmonieux — ont fait des Etats-Unis d'Amérique le pays le plus riche et le plus puissant du monde, ils peuvent et doivent, à une échelle moindre évidemment, donner dans notre pays des résultats qui seront de nature à satisfaire, à la fois, le producteur, dans ses deux éléments, travail et capital, et le consommateur, qui veut à bon marché un bon produit.

Dans cet ordre d'idées, il faut avec satisfaction enregistrer

les résultats déjà atteints en France dans un certain nombre d'industries importantes ; il en est même qui, sous la forme corporative, donnent mieux que des espérances. L'industrie électrique, si fragmentée en France, participe à ce mouvement ; de récentes créations l'ont très heureusement déclenché.

J'ai tout dernièrement visité plusieurs de nos propres usines ainsi modernisées et accrues et je tiens à affirmer devant vous qu'elles peuvent, à l'échelle près, supporter la comparaison avec les plus belles usines similaires de l'étranger ; elles font honneur aux chefs, aux ingénieurs et à tout le personnel qui, avec une intelligence et une ardeur auxquelles je rends hommage, les ont conçues et exécutées.

Elles sont dotées de puissantes stations d'essais et de recherches. Elles font impression sur l'étranger qui les visite ; elles aident grandement notre service d'exportation.

Bien que ma compétence s'arrête au seuil des industries que nous exerçons, j'ai été également impressionné par ce que j'ai vu de quelques industries qui nous sont étrangères, dont les efforts coordonnés et vigoureux inspirent une confiance raisonnée dans l'avenir industriel de notre pays.

Dans l'une de ces usines, plus de 200 millions de francs sont actuellement dépensés, qui en feront un organisme formidable, en mesure de lutter sans désavantage contre la redoutable concurrence américaine.

Il est cependant quelques points secondaires sur lesquels notre infériorité reste encore manifeste :

Le délai de livraison, avec lequel nous prenons une liberté qui exaspère le client ;

La présentation, à laquelle nous n'attachons pas toujours l'importance qu'elle mérite, car c'est elle qui frappe en premier lieu l'acheteur et d'une façon souvent décisive ;

La publicité, qui, chez nous, est généralement peu soignée et mal organisée.

Un soin extrême est mis aux Etats-Unis à être agréable au consommateur dans ses goûts et ses désirs ; les mesures prises pour atteindre ce but ne semblent jamais trop coûteuses. C'est ainsi que nos ingénieurs nous ont souvent signalé avec quel soin et à quel prix sont assurés aux Etats-Unis les services publics tels que celui de l'électricité ; il est pénible de constater qu'il existe encore en France des producteurs qui, par négligence ou parcimonie, en prennent à leur aise avec les charges des services publics qui leur sont confiés.

En fin de compte, c'est le consommateur qui impose sa loi : méconnaître cette vérité, c'est courir au devant d'un échec.

3. Gérance des entreprises. — a) *Conseils d'administration.* — Une aigre bise souffle sur les conseils d'administration des sociétés anonymes ; plusieurs assemblées générales se sont récemment montrées houleuses à leur égard.

Que leur reproche-t-on ?

Il en est qu'on accuse de mal gérer les affaires sociales.

Bien qu'il soit difficile à un actionnaire, qui manque généralement des éléments d'information nécessaires, d'émettre à coup sûr des critiques impartiales, il va de soi qu'un conseil d'administration n'est pas toujours à la hauteur de sa tâche.

Sa composition même donne un aperçu de ses capacités, de sa mentalité, mais il faut bien se convaincre que la prospérité d'une entreprise dépend avant tout de sa haute direction : c'est le choix de cette dernière qui constitue la tâche la plus délicate, la plus essentielle d'un conseil d'administration.

L'on peut évidemment admettre qu'une affaire est mal gérée lorsqu'on en voit de similaires accuser un degré de prospérité nettement supérieur.

Mais il peut se faire qu'une entreprise soit florissante tout en ayant à sa tête un conseil de valeur quelconque ; le cas est, en effet, assez fréquent de sociétés ayant exercé leur activité sous le règne d'administrateurs se succédant de père en fils et dont la prospérité, encore réelle, s'effrite cependant d'année en année : c'est qu'il faut à un organisme médiocre du temps et de la ténacité pour arriver à compromettre une entreprise solidement édifiée par ceux qui l'ont précédé.

Mais ce sont là des cas d'espèce qui n'ont à mes yeux aucun intérêt. Quand un conseil d'administration n'est pas à la hauteur d'une tâche, qui devient d'ailleurs chaque jour plus complexe, il faut le remplacer si on le peut.

Si l'on est impuissant à entraîner l'assemblée générale des actionnaires, il faut sortir sans hésitation d'une affaire que l'on juge mal conduite. L'actionnaire qui croit agir à bon escient doit vendre ses titres et en replacer judicieusement le produit ; c'est d'ailleurs dans cette dernière phase de l'opération que gît la difficulté.

Mais il est des critiques d'ordre général qui sont faites à la plupart des conseils d'administration.

On leur reproche principalement de dissimuler l'importance des bénéfices, de les répartir parcimonieusement, de présenter des bilans obscurs et condensés, de se refuser à donner la composition du portefeuille lorsqu'il est d'importance, de ne pas vouloir fournir de renseignements précis sur la marche des affaires sociales, sur les sources de profits, s'il en existe plusieurs ; on leur reproche encore d'émettre les actions nouvelles à un taux trop élevé.

Certains de ces reproches seraient fondés si une assemblée se tenait en vase clos, si les renseignements produits ne devaient pas se répandre au dehors, s'il n'existait pas des actionnaires de passage qui ne sont là que pour épier, interroger, critiquer, afin de s'attirer une riposte instructive, en un mot, pour se renseigner, soit dans un but purement spéculatif, soit pour le compte d'entreprises similaires dans lesquelles ils ont leurs véritables intérêts.

Ces actionnaires sont la plaie des assemblées et c'est leur présence qui rend les conseils d'administration circonspects.

Il ne faut pas oublier aussi l'existence des comptes rendus sténographiés, qui paraissent dans les journaux économiques, et les commentaires tendancieux auxquels ils donnent lieu.

Je veux m'expliquer sur les critiques essentielles que je viens d'énumérer.

b) *Bénéfices, dividende.* — L'intérêt du conseil d'administration n'est-il pas de faire valoir sa gestion en montrant toute l'importance des bénéfices réalisés ?

La grosse difficulté, celle qui donne lieu à des interprétations variées, consiste à déterminer ces bénéfices.

Dans une entreprise industrielle comme la nôtre, trois postes principaux permettent, à ce sujet, toutes les variations, j'allais dire toutes les fantaisies : le compte des travaux neufs, celui des marchandises générales, enfin les titres en portefeuille.

Dans le poste des travaux neufs, est-il raisonnable de porter autre chose que ce qui augmente effectivement la valeur de l'actif social : les dépenses de gros entretien, les remaniements d'atelier, la substitution au matériel fatigué ou peu productif d'un matériel neuf à grand rendement, ne doivent ils pas faire l'objet d'amortissements préalables ?

L'inventaire des marchandises générales ne doit-il pas être établi de manière à mettre la société à l'abri des baisses

que subissent périodiquement les matières premières, les demi-produits, les produits finis ? Prenons l'exemple d'une marchandise qui aura séjourné dans les magasins pendant deux ou trois années consécutives; ne doit-elle pas être biffée de l'inventaire, exclue des magasins, où elle tient une place précieuse et charge les comptes d'un poids mort ?

Est-il prudent de tenir compte, dans un produit fabriqué ou en cours de fabrication, d'autre chose que de la matière première qui le compose et de la main-d'œuvre qui y a été directement incorporée ?

L'on peut évidemment tenir compte des frais d'atelier, d'usine, du siège social et de trésorerie. Il en est même qui incorporent tout ou partie du bénéfice supputé en cas de vente, pratique condamnable qui a évidemment pour but de grossir les bénéfices apparents.

Quant aux titres en portefeuille, la seule règle saine est de ne dégager un bénéfice que lors de sa réalisation effective.

Voilà donc, pour n'en pas citer d'autres, trois ordres de faits qui permettent de faire varier, dans des proportions généralement considérables, ce qu'on est convenu d'appeler les bénéfices, mot dont je viens de montrer toute l'imprécision.

Ai-je à parler du dividende proprement dit ? Il est fonction des « bénéfices distribuables » et ce sont ceux-là, précisément, que la plupart des sociétés font ressortir dans leurs bilans. C'est spécialement le cas à la Compagnie générale d'Electricité.

Leur répartition est réglée par les statuts qu'il n'y a qu'à suivre pour dégager automatiquement l'importance du dividende.

Laissez-moi, en tout cas, vous dire qu'il est absurde de soutenir que le dividende doit être en rapport avec le cours de l'action.

La capitalisation d'une affaire dépend moins, en effet, de l'importance de son dividende immédiat que de la sécurité qu'elle offre, de ses perspectives d'avenir, en un mot de la confiance qu'on lui fait.

Je ne puis, bien entendu, faire ici aucune comparaison ; la Compagnie générale d'Electricité constitue, d'ailleurs, une affaire tout à fait spéciale, qui n'a pas son équivalent en France. Elle exploite directement un grand nombre d'établissements industriels, de natures très variées ; elle possède ou contrôle plusieurs très importantes affaires de distributions d'énergie électrique, elle possède un portefeuille-titres dont l'importance en fait le poste le plus gros de l'actif.

Et si ses actions se trouvent capitalisées entre 1 1/2 et 2 pour 100 net, c'est que le public lui attribue une puissance latente considérable et permettez-moi d'affirmer que le public ne se trompe pas.

Il faut aussi penser à la trésorerie et remarquer qu'une société ne peut trouver les fonds dont elle a besoin que dans les trois sources suivantes :

Augmentations de capital : il faut craindre l'inflation et ne pas trop les répéter ;

Emission d'obligations : la faculté peut en être épuisée ou se présenter à un moment inopportun ;

Disposition d'une partie des bénéfices sociaux qui a pour corollaire la compression du dividende.

Vous ne pouvez vraiment pas reprocher à votre conseil d'administration d'avoir mal utilisé l'une ou l'autre de ces sources, à chacune desquelles il a su opportunément recourir.

c) *Bilans.* — La forme condensée des bilans s'impose lorsqu'il s'agit d'une entreprise complexe, comme sont aujourd'hui devenues la plupart des grandes sociétés industrielles.

A la Compagnie générale d'Electricité, le nombre des usines se compte par dizaines, chacune d'elles englobe un bon nombre de fabrications qui voisinent sans se confondre, de sorte qu'en plus des inconvénients d'ordre général que je vous ai signalés, un bilan détaillé apparaîtrait tellement confus qu'il en deviendrait illisible,

d) *Portefeuille.* — Pour embarrasser un conseil d'administration, il n'est que de lui réclamer la composition du portefeuille, en citant, bien entendu, l'exemple de la Belgique, où les sociétés sont tenues de publier le nombre et la nature des titres qui le composent ; l'on y tourne d'ailleurs élégamment la difficulté en faisant intervenir des sociétés contrôlées, chaque fois qu'on le juge nécessaire.

Trois remarques sur cette question :

La première, c'est que les renseignements ainsi fournis ne sont que relatifs, que, s'ils peuvent satisfaire la curiosité de l'actionnaire, ils sont certainement nuisibles à la société, dont ils dénoncent la politique à l'égard des tiers ;

La seconde, c'est qu'un actionnaire ne saurait mettre la société dont il est l'associé en état d'infériorité par rapport à ses similaires : une loi nouvelle obligeant toutes les sociétés à publier le détail de leur portefeuille amoindrirait le mal en le généralisant. D'ici là, un conseil a le devoir d'être prudent ;

Ma dernière remarque concerne la Compagnie générale d'Electricité : le rapport du conseil mentionne les principales participations prises en cours d'exercice et précise leur importance.

e) *Primes d'émission.* — Beaucoup d'actionnaires entendent exiger des conseils d'administration que cette prime soit très réduite, sinon même supprimée.

Une pareille mesure sacrifie l'avenir au présent.

L'actionnaire se laisse, en effet, séduire par un bénéfice immédiat, sans se rendre compte des suites désastreuses qu'entraînerait pour une société l'inflation du capital, qui en est la conséquence mathématique.

Une société n'augmente pas son capital pour accroître son prestige, mais parce que son développement lui en fait une nécessité.

Je prendrai pour m'expliquer le cas de la Compagnie générale d'Electricité dont la dernière augmentation de capital, portant sur un nominal de 30 millions de francs, remonte au début de 1929.

La trésorerie ayant eu à se procurer une somme de l'ordre de 150 millions de francs et une émission d'obligations n'ayant pas alors été jugée opportune, votre conseil a décidé de recourir à une émission d'actions.

Il faut se rappeler qu'à cette époque, toute augmentation de capital était saluée par une hausse des cours et que l'action de la Compagnie générale d'Electricité cotait 4 500 fr.

Pour produire les 150 millions de francs nécessaires, il fallait créer : 300 000 actions à 500 fr, ou 60 000 actions à 2 500 fr, soit, bien entendu, s'arrêter à des chiffres intermédiaires.

L'émission au pair, c'est-à-dire la création de 300 000 actions, aurait eu pour effet de porter brusquement le capital social de 100 millions à 250 millions de francs, au lieu de 130 millions, chiffre actuel.

Les bénéfices distribuables de l'exercice 1929 seraient évidemment restés les mêmes et nous nous trouverions aujourd'hui avoir à répartir, après les dotations statutaires, une somme de 27 600 000 fr entre 500 000 actions au lieu de 200 000.

Le dividende brut aurait dû être fixé à 44 fr au lieu de 85 fr.

Au même taux de capitalisation, vos titres vaudraient aujourd'hui 1 800 fr au lieu de 3 500 fr, mais vous auriez pu

réaliser un droit de souscription proportionnellement plus élevé.

Y auriez-vous gagné?

Ce qui est absolument certain, c'est que le prestige, le crédit de votre société auraient été fortement atteints et c'est, pour une entreprise, un mal que l'on remonte difficilement, un mal qu'il faut éviter à tout prix.

Je ne veux pas oublier un dernier argument qui a dû effleurer votre esprit.

Plus le prix d'émission est bas, plus sont lésés les actionnaires qui ne l'exercent pas, pour un motif ou pour un autre. Bien que l'article 40 des statuts précise que les décisions de l'assemblée générale « sont obligatoires pour tous, même pour les absents, incapables ou dissidents », il y a là quelque chose de choquant, à quoi l'on peut cependant ne pas s'arrêter en raison du très petit nombre de ces actionnaires — 2 pour 100 lors de notre dernière émission.

Je consens à considérer cet argument comme négligeable; par contre, la valeur des autres s'impose à mes yeux de façon indéfectible.

Mais si vous voulez toute ma pensée, en partant de l'hypothèse où l'opération de mars 1929 serait à faire aujourd'hui seulement, il est certain que, dans l'atmosphère boursière actuelle, je n'hésiterais pas à proposer au conseil un prix d'émission proportionnellement plus bas que celui pratiqué il y a un an.

C'est, je le répète, question de mesure et d'opportunité, affaire de « climat ».

Croyez bien, en tout cas, qu'il n'y a pas là pour votre conseil, pas plus que pour ceux de vos filiales, une question de principe.

Quand une affaire de notre groupe peut le supporter, les actions nouvelles sont émises au pair; en voici plusieurs exemples :

La Compagnie lorraine d'Electricité vient de porter son capital de 40 millions à 60 millions de francs par une émission faite au pair;

Il en est de même de Basse-Moselle (12 400 000 à 20 millions de francs), de l'Electricité de Marseille (85 millions à 120 millions de francs).

Dans ces diverses affaires du groupe de la Compagnie générale d'Electricité, il a été jugé que l'importance des amortissements pratiqués dans le passé, les accroissements relativement faibles des augmentations de capital, la sécurité qu'offre une industrie jouissant d'un monopole de fait, la quasi-certitude d'une progression, peut-être lente mais certaine, des bénéfices, il a été jugé, dis-je, que les dividendes précédemment payés pourraient être maintenus intacts ou peu s'en faut et c'est ce qui a décidé les conseils de ces entreprises à émettre les actions nouvelles au pair.

J'espère que nombreux sont ceux d'entre vous qui, actionnaires de l'une ou l'autre de ces filiales de la Compagnie générale d'Electricité, auront pu participer à ces opérations fructueuses.

f) *Actions à vote plural.* — Leur sort paraît réglé et, dans un délai plus ou moins court — on parle de six mois — elles vont être probablement supprimées.

C'est la conséquence toute naturelle des abus auxquels elles ont donné lieu et des objections de principe qu'elles ont soulevé dès leur création, dans un pays où règne le suffrage universel égalitaire.

Vous savez qu'elles existent à la Compagnie générale d'Electricité et comment elles ont pris naissance.

Je rappelle que, consultés officieusement, à l'issue de l'assemblée générale du 30 décembre 1926, les actionnaires ont émis, à l'unanimité, un vœu en faveur de leur création.

Et l'assemblée générale extraordinaire du 4 avril 1927 les a effectivement créées.

Leur répartition s'est faite très libéralement, puisque les demandes de tous les actionnaires ont été intégralement servies, à l'exception d'une seule émanant d'un étranger, auquel il a été cependant alloué la moitié des titres auxquels il aurait eu droit normalement.

Nous étions d'ailleurs si peu convaincus du maintien de ce type d'actions, si persuadés que le redressement financier de la France, dans lequel nous avions une foi absolue, serait bientôt accompli, qu'une clause a été insérée dans les statuts à l'article 7, prévoyant leur suppression éventuelle et en précisant les modalités.

En voici le texte :

« Le conseil d'administration pourra, à toute époque qu'il jugera opportune, proposer à l'assemblée générale, composée des propriétaires des actions A et B, l'assimilation complète des actions B aux actions A.

» La décision prise par cette assemblée générale extraordinaire ne sera pas subordonnée à la ratification d'assemblées spéciales. »

Cette suppression est-elle un bien, est-elle un mal? Comme en toute chose, il y a de l'un et de l'autre.

Les affaires petites ou moyennes passeront facilement sous le contrôle de groupes français ou étrangers qui en auront ainsi décidé.

L'avenir seul montrera le danger que pourront courir les grandes entreprises.

Une solution séduisante a été proposée; elle devrait rallier les suffrages que ne domine pas une idée préconçue.

Elle consisterait à donner aux actions de forme nominative, détenues depuis un certain temps par un même actionnaire, un droit de vote privilégié par rapport à l'action au porteur.

C'est là une formule pleine de sens pratique et fort équitable, puisque tous les actionnaires sans exception pourraient en profiter; elle gênerait les prises de contrôle et, en tout cas, avertirait une société du danger qui la menace.

L'action nominative, avec les droits spéciaux qui y seraient attachés, permettrait la continuité de vues que chacun déclare indispensable à la bonne marche d'une affaire.

Elle rendrait, en outre, toute fraude fiscale impossible, qu'il s'agisse de l'impôt sur le revenu ou des droits sur les successions.

4. Assurances sociales. — Les polémiques passionnées, auxquelles a donné lieu la question des assurances sociales, doivent rendre perplexes et peut-être craintifs beaucoup d'entre vous.

J'ai tenté de me faire une opinion personnelle sur les conséquences matérielles et morales de cette grosse question et j'ai assisté, dans ce but, aux réunions, d'un intérêt aigu, organisées, à la Cour de Cassation, par le Comité national d'Etudes sociales et politiques.

Tous les conférenciers avaient une valeur propre considérable, connaissaient la question pour l'avoir personnellement étudiée; plusieurs, parmi les Français, avaient fait des enquêtes dans les pays étrangers où sont organisées, depuis plus ou moins longtemps, les assurances sociales, et ces pays avaient eux-mêmes délégué des personnes éminentes pour exposer l'état de la question.

J'ai écouté sans aucun parti pris et avec le très vif désir de connaître la vérité.

Or, j'ai entendu exposer par les uns les bienfaits, par les autres les méfaits des lois existantes, les conférenciers tirant

des mêmes statistiques des conclusions opposées : je n'ai donc pas réussi à me faire une opinion éclairée et décisive sur la question. Une seule constatation générale : personne ne contestait l'opportunité du principe des assurances sociales.

Il est certain qu'une charge nouvelle, dont il est impossible de calculer la valeur exacte, pèsera sur l'industrie, le commerce et même l'agriculture à partir du jour où la loi des assurances sociales sera appliquée, c'est-à-dire le 1er juillet 1930.

Elle variera, bien entendu, avec la nature de la production, c'est-à-dire avec la quantité de main-d'œuvre incorporée dans un produit déterminé. Elle semble devoir être en moyenne de 3 pour 100 pour les fabrications de la Compagnie générale d'Electricité.

Mais j'estime que cette charge doit être compensée par les progrès incessants dont une fabrication quelconque est l'objet, par l'amélioration générale de la santé publique qui résultera de la loi nouvelle et qui constituera un bienfait particulièrement appréciable dans un pays comme la France, dont la mortalité dépasse largement celle de toutes les nations d'égale civilisation.

Il faut bien se dire que le travailleur n'est pas gâté dans notre pays, que, s'il est rarement frappé par le chômage, il dispose d'un salaire insuffisant pour jouir du bien-être auquel il a droit.

Sous prétexte de complications ou d'abus, pouvait-on raisonnablement se refuser à lui éviter les cruels soucis de l'âge, de l'infirmité et de la maladie?

La condition essentielle, dit M. André Philip, du contentement ouvrier et d'une haute production, est une bonne santé. La loi sur les assurances sociales y contribuera très certainement.

5. Présent et avenir. — Où en sommes-nous aujourd'hui? Que peut-on attendre de l'avenir immédiat, c'est-à-dire de l'année 1930, et de l'avenir plus lointain?

La baisse marquée des matières premières et celle des grands produits agricoles est un signe certain du malaise, plus ou moins accentué, dont aucun pays du monde n'est actuellement exempt. La première a d'ailleurs à peine touché la France, qui en produit peu et avait su réduire ses stocks au minimum : elle ménage la trésorerie.

Dans la mesure où l'on peut se fier aux statistiques, celles relatives au chômage fournissent l'une des meilleures indications qui soient :

A cet égard, les Etats-Unis avec leurs 6 millions de chômeurs; l'Allemagne avec 2,5 millions de chômeurs; l'Angleterre avec 1 750 000; l'Italie avec 500 000 à 1 million donnent une première idée du mal.

Les autres indices viennent appuyer ce signe défavorable.

Tous les pays étant aujourd'hui en quelque mesure solidaires les uns des autres, la France ne pouvait échapper à la crise : mais, à l'exception du commerce de luxe et d'un nombre restreint d'industries, l'on peut dire qu'elle est jusqu'ici peu atteinte.

Cela tient, je pense, à l'absence de toute exagération dans son équipement économique, cela tient aussi à l'accroissement de la capacité d'absorption de son marché intérieur.

Les récents dégrèvements vont quelque peu atténuer des charges fiscales devenues écrasantes : la Compagnie générale d'Electricité et ses filiales ont payé, en 1929, comme impôts directs, indirects et droits d'enregistrement, un total de 81 982 000 fr, contre 58 586 000 fr en 1928!

Du point de vue financier, la France est dans un état resplendissant; l'argent est d'un bon marché extrême, dont profitent son commerce et son industrie.

Son magnifique redressement lui permet, lui impose même l'exportation de capitaux devenus pléthoriques.

Quelle belle partie à jouer qui aurait une répercussion profonde sur l'économie générale du pays!

Dégonfler la circulation monétaire, véritable inflation gagée, qui, comme l'autre, pousse à la hausse du coût de la vie;

Obtenir une représentation équitable de nos intérêts dans les affaires étrangères cotées en France, afin d'en surveiller la marche et d'y défendre la cause de la production française;

Exiger qu'aucun emprunt étranger ne puisse être émis en France sans qu'un traitement de faveur soit accordé aux produits français.

Vous vous souvenez de la ferveur avec laquelle l'on vous conviait, il y a dix ans, à entonner l' « hymne à la production ».

Le but est maintenant atteint et largement dépassé.

C'est aujourd'hui « l'hymne à la consommation » qui s'impose : il ne produira d'ailleurs son plein effet que si l'on donne à la masse des consommateurs les moyens matériels qui lui manquent.

Quoi qu'il en soit, j'ai bon espoir que, pour la Compagnie générale d'Electricité, les résultats de l'exercice en cours, seront comparables à ceux de l'exercice 1929.

Nous ne sommes cependant qu'en mai et nul ne peut affirmer que les longs mois restant à courir ne connaîtront aucune déception.

Mais, me basant sur ce que l'industrie principale exercée par notre groupe est celle des distributions d'énergie électrique, qui connaît peut-être moins que d'autres l'envolée des périodes prospères, mais qui souffre infiniment moins qu'elles des dépressions économiques, me basant aussi sur les chiffres d'affaires réalisés dans le premier tiers de l'exercice 1930, sur les carnets de commandes et de travail que nous avons en mains, j'ai l'espoir de voir notre société sortir, une fois de plus, à peu près indemne des circonstances adverses qu'elle pourrait avoir à traverser d'ici la fin de l'année.

En tout cas, pour ce qui est de l'avenir plus lointain; j'ose être très optimiste.

Le champ d'action de la Compagnie générale d'Electricité s'est beaucoup élargi, sa zone d'influence s'est notablement accrue, les usines qu'elle possède ou qu'elle contrôle sont déjà modernisées ou vont achever de l'être à bref délai; enfin, point essentiel sur lequel je ne saurais trop appuyer, ses nombreuses affaires sont remarquablement dirigées. Comment, dès lors, douter de son avenir?

Assemblées générales

Société havraise d'Energie électrique.

Assemblée générale ordinaire du 28 avril 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 57 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 80, rue Saint-Lazare, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Au cours de l'exercice, la société a poursuivi avec activité l'exécution de son programme, aussi bien dans son usine du Havre que dans sa sous-station de Bolbec et dans son usine de Yainville.

Dans la région de la Seine maritime, qui s'étend de Rouen au Havre, et qui tend de plus en plus à devenir l'avant-port de Paris, la plus grande activité n'a cessé de régner.

Des groupes importants, français et américains, ont procédé à des achats de grandes surfaces de terrain dans le but d'installer de puissantes usines de raffinage de pétrole. Ces usines, et toutes les industries qui graviteront autour d'elles, pourront devenir, dans un court délai, des clients importants pour la société.

Dans le voisinage immédiat de l'usine génératrice de Yainville, une des plus importantes sociétés françaises de corps gras va installer ses fabrications. Cette société prendra, non seulement toute l'énergie électrique nécessaire à ses besoins, mais elle utilisera encore, aux heures creuses, la vapeur disponible à l'usine.

La société a commencé les travaux de construction de la voie ferrée qui doit relier à la ligne Caudebec-Le Havre-Paris les terrains qu'elle possède à Yainville.

Elle étudie en ce moment une nouvelle tranche de travaux comportant l'établissement de lignes à 100 000 v du Havre à Yainville, capables de transmettre une puissance de 20 000 kv-a, soit à titre de secours d'une usine à l'autre, soit pour l'amener à Port-Jérôme, centre important, situé dans le voisinage de Quillebeuf, où des travaux concernant l'installation de trois darses susceptibles de recevoir chacune un navire de 15 000 t vont être entrepris.

Des contrats qu'elle vient de signer avec la Société normande d'Electricité lui permettent d'examiner la possibilité d'étendre son champ d'action sur la rive gauche de la Seine, jusqu'à Honfleur, Lisieux, Trouville et Deauville.

La progression constante de ses affaires oblige à envisager prochainement l'augmentation du capital social et l'émission de la dernière tranche de 18 millions de francs restant disponible, en conformité des autorisations qui ont été accordées au conseil d'administration.

Voici quelques précisions sur les progrès réalisés au cours de l'exercice qui vient de s'écouler. Comme il a été indiqué précédemment (1), la société ayant obtenu la rétrocession de la concession communale de Saint-Romain-de-Colbosc a pris possession des installations établies.

Elle a également poursuivi les formalités concernant le rachat du secteur d'Epouville.

Les conventions ont été approuvées par les Pouvoirs publics, et depuis le 1er janvier 1930, la société est régulièrement et définitivement propriétaires du réseau.

Différentes extensions avaient été demandées pour le réseau du Syndicat de Bolbec-Lillebonne. Leur réalisation vient d'être achevée.

La construction du réseau du Syndicat de Montivilliers a été entièrement terminée à la fin de l'année 1929 et celui-ci a été mis en charge immédiatement. Quelques extensions qui avaient été demandées dans certaines communes viennent d'être achevées.

Au cours de l'exercice la société a procédé à l'étude du réseau du syndicat de Duclair. Les travaux sont commencés et seront terminés dans le courant de cet exercice. Elle a également procédé à l'étude du réseau du syndicat de Caudebec.

Nous donnons également quelques précisions sur les travaux en cours d'exécution au Havre, à Bolbec et à Yainville.

Le premier groupe turboalternateur de 12 000-15 000 kw de l'usine génératrice du Havre a été mis en service en décembre 1929. Il fonctionne provisoirement à la pression de 13 kg : cm² en attendant que la société dispose de la vapeur à 35 kg cm² et 425°C pour laquelle il a été prévu. Le second groupe de même puissance, commandé l'année dernière, doit être livré prochainement. Dans cette usine la société disposera l'été prochain d'une puissance de 33 000 kw en turbines fonctionnant à 13 kg : cm² et de 30 000 kw en turbines fonctionnant à 35 kg : cm², soit une puissance de 63 000 kw au total.

A Bolbec, aux abords immédiats de la sous-station, la société a augmenté le nombre d'artères pour rendre les lignes indépendantes et faciliter les manœuvres d'exploitation.

Les travaux d'extension de l'usine de Yainville ont été activement poursuivis. Les bâtiments de la salle des machines ont été doublés. L'installation de deux groupes de 15 000 kw, devant fonctionner à la pression de 35 kg : cm², est activement poussée. La chaufferie va être doublée.

Lorsque les deux groupes de 15 000 kw destinés à l'usine du Havre et les deux groupes de 15 000 kw chacun destinés à l'usine de Yainville seront installés, la société disposera d'une puissance totale de 107 250 kw, soit 145 700 ch.

Les réseaux desservant les différents secteurs ont été, au cours de l'exercice écoulé, l'objet de développements importants. La longueur de canalisations est passée de 1 442,178 km au 31 décembre 1928, à 1 847,683 km au 31 décembre 1929.

L'augmentation totale du nombre des abonnés s'élève à 4 900.

La vente de l'énergie a suivi une progression parallèle à celle du nombre d'abonnés. Elle a atteint, pour l'exercice 1929, 87 451 936 kw-h contre en 1928, 78 millions 796 708 kw-h, d'où une augmentation pour 1929 de 8 655 228 kw-h.

Il a également été procédé aux achats de terrains et d'immeubles reconnus nécessaires pour les agrandissements de la société et ceux des sociétés dans lesquelles elle a des participations et qui seront ses clientes pour les fournitures d'énergie.

Au cours de l'exercice, les recettes de toute nature se sont élevées à 47 835 604,12 fr. Les dépenses totales à 27 269 123,93 fr.

Le produit de l'exercice est donc de 20 566 480,19 fr dont il y a lieu de déduire : la charge des obligations 4 pour 100 et 6 pour 100, intérêts, impôts et amortissement, s'élevant à 1 044 854,35 fr ; pour augmentation du fonds de réserve, 2 000 000 fr ; pour amortissement de 4 000 actions, 1 million de francs ; pour amortissement sur canalisations, 472 594,55 fr ; pour amortissement sur matériel et divers, 1 133 408,08 fr.

Il reste une somme de 14 915 623,21 fr à laquelle il convient d'ajouter le reliquat du compte de profits et pertes provenant des exercices antérieurs, soit 3 548 462,83 fr.

L'ensemble des bénéfices disponibles est donc de 18 millions 464 086,04 fr.

La répartition est la suivante : 5 pour 100 à la réserve légale sur 14 915 623,21 fr, soit 745 781,15 fr ; dividende de 55 fr aux actions de capital, soit 10 433 500 fr ; dividende de 45 fr aux actions de jouissance, soit 1 723 500 fr ; 10 pour 100 au conseil sur 12 272 842,06 fr, 1 227 284,20 fr.

Il reste donc un solde de 4 334 020,69 fr qui est reporté.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Caisse et banques.....	13 198 911,02
Valeurs en portefeuille, rentes sur l'Etat, obligations.....	11 759 708,25
Quittances mensuelles et effets à recevoir.....	6 934 840,60
A reporter....	31 893 459,87

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 20 juillet 1929, t. XXVI, p. 115.

		fr
Report...		31 893 459,87
Débiteurs, avances aux constructeurs, fournisseurs et divers		10 087 009,89
Marchandises en magasin et stocks charbon		5 118 614,30
Terrains et immeubles : Le Havre, Bolbec, Yainville		3 714 892,09
Usines du Havre, d'Yainville, sous-station de Bolbec, y compris bâtiments, matériel et outillage, compteurs, transformateurs, branchements, colonnes montantes et divers, amortissements antérieurs déduits	39 475 207,13	
Travaux nouveaux, augmentation usines Havre-Bolbec-Yainville en 1929	12 583 385,76	
	52 058 592,89	
Amortissements en 1929	2 588 651,30	
		49 469 941,59
Canalisations Havre-Bolbec-Yainville et électrification rurale, moins amortissements		27 112 782,83
Frais de premier établissement		1 »
Agencement et mobilier Paris		1 »
Travaux du port :		
Machines,		1 »
Canalisations		1 »
Installlations des particuliers		1 »
Prime de remboursement des obligations 4 pour 100, série A		96 167.25
		127 492 872,82

Passif.

	fr
Capital actions moins amortissements de 42 300 actions	46 425 000 »
Capital obligations 4 pour 100, séries A et B moins amortissements de 5 571 obligations	1 501 500 »
Capital obligations 6 pour 100, série C moins amortissements de 2 992 obligations	8 504 000 »
Actions et obligations à rembourser sur tirages antérieurs, coupons antérieurs sur actions et obligations	1 472 924,57
Coupons 2e semestre 1929 sur obligations 4 pour 100 et 6 pour 100	287 118 »
4 000 actions à rembourser en 1930	1 000 000 »
Impôts sur titres 4e trimestre 1929 et impôts sur bénéfices industriels et commerciaux	3 124 167,18
Fournisseurs de matériel et de charbon, entrepreneurs et divers	16 651 878,98
Réserve légale	5 187 869,77
Provision pour amortissement électrification rurale	12 342 111,08
Réserve pour amortissements divers	4 495 914,15
Id. Id. et réfection de matériel	7 500 000 »
Réserve fonds d'assurances	536 303,05
Profits et pertes (reliquats antérieurs)	3 548 462,83
Profits et pertes (solde 1929)	14 915 623,21
	127 492 872,82

Société d'Électricité de la Région de Valenciennes-Anzin.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 15 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 40 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements suivants :

Pendant l'exercice 1929, les ventes d'énergie se sont développées d'une manière satisfaisante et le perfectionnement des moyens de production s'est activement poursuivi (1).

L'usine génératrice de Valenciennes rénovée sera bientôt en mesure de répondre aux besoins de la clientèle dans de bonnes conditions économiques de production; l'ensemble des dispositions prises et des améliorations apportées dans les exploitations permet d'espérer une progression des résultats comparable à celle obtenue jusqu'ici.

Le crédit du compte de profits et pertes comprend : le report du solde au 31 décembre 1928, 5 562,55 fr et le solde du compte général d'exploitation et intérêts divers, 20 millions 659 278,79 fr, soit au total, 20 664 841,34 fr.

Le débit de ce compte comprend : les frais d'administration et divers, 635 032,96 fr; réserve d'assurances, 500 000 fr; versement au fonds d'amortissement et de renouvellement du matériel, 9 000 000 fr.

Le solde s'élève donc à 10 529 808,38 fr qui est réparti comme suit : 5 pour 100 à la réserve légale sur 10 millions 524 245,83 fr, soit 526 212,29 fr; dividende de 5 pour 100 aux 80 000 actions libérées, 1 000 000 fr; dividende de 5 pour 100 aux 80 000 actions libérées de moitié, 500 000 fr; attribution statutaire, 502 080,81 fr; deuxième dividende de 35 fr aux 160 000 actions, 5 600 000 fr; à reporter pour les actions, 2 620,72 fr; dividende de 239,88 fr aux parts, 2 398 800 fr; à reporter, 94,56 fr.

En conséquence, les dividendes sont fixés à : 47,50 fr par action entièrement libérée; 41,25 fr par action libérée de moitié; 239,88 fr par part bénéficiaire.

Ils sont mis en paiement à partir du 2 juin 1930, contre remise des coupons n° 12, sous déduction des impôts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

		fr
Actionnaires		10 000 000 »
Portefeuille, titres		2 673 096,57
Usines, réseaux et concessions		82 885 953,38
Disponibilités : caisses, banques et débiteurs divers		17 547 389,32
Magasins. Approvisionnements		4 600 901 »
Compte d'ordre		16 142 898 »
Titres à libérer	977 250 »	
Etat français, annuités à recevoir	15 165 648 »	
		133 850 238,27

Passif.

	fr
Capital : 160 000 actions de 250 fr	40 000 000 »
Réserve légale	2 414 416,08
Réserve d'assurances	1 000 000 »
Fonds d'amortissement et de renouvellement du matériel	39 000 000 »
Créditeurs divers	24 750 759,36
Coupons restant à payer	12 356,45
Compte d'ordre. Versements restant à effectuer sur titres et annuités à recevoir de l'Etat et déléguées	16 142 898 »
Profits et pertes	10 529 808,38
	133 850 238,27

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. XXV, p. 1 032.

SECTION DE LÉGISLATION

Des conflits juridictionnels provoqués par les disparates entre polices d'abonnements et cahiers des charges

Dans l'intéressante affaire exposée ci-dessous, le cahier des charges et la police type, ainsi que les polices d'abonnement, étaient en contradiction sur un point important : l'attribution de juridiction pour les litiges. On verra comment les tribunaux saisis tour à tour se sont prononcés et comment ils auraient dû juger, selon l'auteur qui, à cette occasion, passe en revue la jurisprudence et examine de graves questions de principe.

I. **Exposé de la question.** — On sait qu'une police type d'abonnement peut contenir autre chose que les dispositions du cahier des charges (1), mais qu'elle ne doit renfermer aucune contradiction avec ces dispositions ni aucune aggravation des sujétions qu'elles impliquent.

Or, il s'est trouvé qu'une grande compagnie de distribution d'énergie électrique, le Nord-Lumière, concessionnaire de la Ville de Pontoise, a inséré dans ses polices types d'abonnement une clause donnant compétence, pour les litiges qui en seraient issus, aux tribunaux du département de la Seine, alors que le cahier des charges (article 35) portait élection de domicile à Pontoise, ce qui vaut attribution de compétence aux tribunaux de Seine-et-Oise.

Il s'est produit des contestations entre la compagnie et ses abonnés, les uns commerçants, les autres non commerçants; des procès ont été portés devant des juridictions différentes, ordinaires et exceptionnelles; toutes ont décidé dans des sens divers. Il nous a paru intéressant d'indiquer comment il semble qu'on aurait dû dire le droit.

Parmi les autorités saisies, certaines se sont déclarées compétentes à la fois, de sorte qu'il y a un conf it positif à résoudre.

Ainsi la Cour d'Appel de Paris (1re chambre) a, dans deux arrêts du 9 janvier 1930, déclaré le Tribunal de Commerce de Pontoise incompétent et, par contre, celui de la Seine compétent.

Mais le tribunal civil de Pontoise, statuant le 11 avril 1929 en appel du juge de paix de Pontoise, a décidé que la compétence *ratione loci* a été réglée par le cahier des charges, ce qui signifie qu'elle appartient aux tribunaux de Seine-et-Oise. Il résulte de tout cela qu'avec une même clause dans leur police, les commerçants doivent aller plaider dans le département de la Seine, tandis que les non-commerçants portent leurs procès devant les juridictions de Seine-et-Oise.

Quant au Conseil de Préfecture interdépartemental de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne, il a, le 11 mai 1929, statué en un sens impliquant de sa part une déclaration d'incompétence *ratione materiae*, tout au moins en l'état de la cause.

Il importe d'examiner la valeur des arguments qu'on a fait valoir de part et d'autre en faveur des diverses thèses en présence.

II. **Les thèses en présence.** — La première question qui se posait était de savoir si la clause insérée dans les polices individuelles en conformité de la police type, mais en contradiction avec le cahier des charges pouvait être considérée comme valable.

En ce sens, on a soutenu que les contrats font la loi des parties et que, si la clause de la police type contredit l'article 35 du cahier des charges, il peut, aux termes de l'article 18 de ce même cahier, être dérogé aux dispositions contenues dans ce modèle par une convention spéciale entre le concessionnaire et l'abonné, sous réserve de pratiquer l'égalité de traitement pour tous les clients qui sont dans les mêmes conditions objectives; on se trouve alors en présence de traités particuliers pour lesquels l'observation du cahier des charges ne s'impose pas; c'est le cas du contrat incriminé. A l'objection que le contrat a dû être souscrit avec la clause attributive de juridiction sans que le client puisse la discuter, on répond que ce dernier, tout contraint qu'il ait été, a consenti néanmoins : « coacta voluntas sed voluntas ».

Dans le sens de la nullité de la clause en question, on fait remarquer que la police type est une annexe du cahier des charges et que toute clause y contredisant devient ipso facto inopposable au signataire, que celle qui est attaquée a échappé au Conseil municipal auquel a été soumise la police type, que la religion de ce dernier a été surprise et qu'ayant d'ailleurs protesté dès qu'il s'est aperçu du subterfuge, le maire a fait toute diligence pour obtenir la radiation de la stipulation incriminée.

Examinons la valeur de ces arguments. Ils mettent en question, d'une part, la portée de l'article 18 du cahier des charges types; d'autre part, toute la théorie de ce qu'on appelle les « contrats d'adhésion ». Nous donnerons notre avis sur ces points.

(1) Arrêt du Conseil d'Etat du 15 janvier 1868. *Recueil des Arrêts*, 1868, p. 20.

III. **Interprétation de l'article 18 du cahier des charges types.** — L'article 18 du cahier des charges prévoit une alternative en faveur du futur abonné : le contrat conforme au modèle arrêté d'accord entre le concessionnaire et le maire autorisé à cet effet par le conseil municipal, ou le traité particulier soumis aux conditions stipulées dans les deux derniers alinéas de l'article 11. En ce qui concerne la police type, elle ne peut rien contenir de contraire au cahier des charges, dont elle est une annexe renfermant des détails d'application ; elle ne peut rien contenir non plus qui aggrave les sujétions prévues audit cahier et sur lesquelles le public a été consulté. Or la clause attaquée contredit le cahier des charges et elle oblige les clients, en cas de litige, à des déplacements plus gênants que ceux auxquels ils se seraient attendus d'après les dispositions mises à l'enquête. Elle est donc nulle et de nul effet. Nous réservons la question de savoir comment et par qui cette nullité doit être déclarée.

Quant aux traités particuliers, qui sont dérogatoires au droit commun, l'article 18 du cahier des charges les soumet « aux conditions stipulées dans les deux derniers alinéas de l'article 11 ». Si nous nous reportons à ces alinéas, nous voyons que le premier prescrit au concessionnaire qui consent, à certains abonnés en basse tension, des abaissements de tarifs l'obligation de « faire bénéficier » des mêmes réductions « tous les abonnés placés dans des conditions de puissance, d'horaire, d'utilisation, de consommation, de durée d'abonnement et de tarif maximum au moins aussi favorables pour lui ». Le second alinéa astreint le concessionnaire à tenir constamment à jour un relevé de tous les abaissements ainsi consentis avec mention des conditions corrélatives et à en mettre dans tous les bureaux d'abonnement un exemplaire à la disposition du public et des agents de contrôle.

Par le seul fait que ces traités particuliers dérogent au droit commun, ils ne sauraient être imposés aux clients. Ils ne peuvent que leur être proposés. Il faut que les sujétions qui aggravent celles du cahier des charges soient compensées par des avantages spéciaux ou par des conditions de service extraordinaires. Il ne suffirait pas, pour constituer un traité particulier, d'une seule clause supplémentaire ou différente de celles du type et que le concessionnaire exigerait unilatéralement, sans contre-partie; autrement, il lui serait trop facile de s'affranchir de l'obligation d'adopter en principe une police conforme au modèle réglementaire. L'article 18 ne permet donc les traités particuliers que s'il y a une situation spéciale, si l'on se trouve en dehors des cas prévus par le cahier des charges et si, dans les conditions de fait existantes, le distributeur n'avait pas l'obligation de fournir le courant suivant les dispositions du cahier des charges , en un mot s'il ne s'agissait pas du *service public* de l'énergie, mais bien du *service privé* facultatif. Il n'en était pas ainsi en l'espèce, puisque c'est le texte de la police-type qui a été adopté et nous devons en revenir à l'étude des différences que celui-ci peut comporter par rapport aux dispositions du cahier des charges, ce qui nous amène à discuter la valeur respective des clauses des contrats d'adhésion (1).

IV. **Des contrats d'adhésion.** — On sait qu'on entend ordinairement par là les contrats passés, le plus souvent sans débat, avec une partie offrante qui *impose* des conditions, ordinairement sous la forme de clauses imprimées. C'est ce qui se produit souvent avec de grandes entreprises, de grands « services privés » (compagnies d'assurances, banques, chemins de fer, etc.) qui ont, suivant la terminologie du regretté jurisconsulte Hauriou, valeur « d'institutions ». En l'espèce, précisément, nous sommes en présence d'un de ces contrats d'adhésion. La police comprend toute une série de clauses imprimées, qui sont la reproduction de la police-type, et seulement quelques clauses manuscrites, stipulant notamment la puissance souscrite et le tarif applicable.

La première question qui se pose à leur endroit est de savoir si ce sont des contrats ou non. L'intérêt qu'on y voit est que, si ce sont des contrats l'autorité ne peut les modifier toute seule tandis que si ce ne sont pas des contrats elle peut imposer des modifications.

Les civilistes déclarent en général qu'il y a bien contrat : « Celui qui adhère aux conditions qui lui sont proposées est, en somme, libre de ne pas les accepter; il pourrait les rejeter en bloc et, par conséquent, lorsqu'ils les accepte, il donne bien son consentement. Ce serait se jeter dans des difficultés inextricables que de refuser à de telles opérations le caractère contractuel (Colin et Capitant *Droit civil*, 2e édition 1920, t. II, p. 258). M. le doyen Gény se prononce dans le même sens. (*Des droits sur les lettres missives*, 1911, t. I, p. 52) ainsi que l'avaient déjà fait MM. Thaller et Percerou (*Droit commercial*, 5e édition, 1916, p. 614).

La Cour de Cassation décide également qu'une police d'abonnement pour l'éclairage électrique ayant établi des obligations réciproques entre le concessionnaire de l'éclairage et les particuliers est un contrat essentiellement civil dont l'appréciation appartient à l'autorité judiciaire (Chambre des Requêtes. 26 novembre 1924. *Recueil hebdomadaire de Dalloz*, 1924, p. 715.

Mais la grande majorité des publicistes repoussent cette théorie (2).

« Les agents publics seuls, fixent unilatéralement les conditions précises dans lesquelles le service fonctionnera. Ni en fait, ni en droit, les usagers n'interviennent et ne peuvent intervenir.

(1) Nous empruntons à M. le professeur Demogue une partie de ses excellentes explications sur ces contrats. *Traité des Obligations*, t. II, ch. XI, n° 616 à 621).

(2) Notamment P. Jèze. *Précis général du droit administratif*, t. III, 1926, p. 13).— Duguit; Situation des particuliers à l'égard des services publics. *Revue du Droit public*, 1907, p. 411. *Droit constitutionnel*, 2e édition 1921, t. I, p. 274. Hauriou, Notes dans le *Recueil Sirey*, 1907, 3e partie, p. 33, sous l'arrêté du Conseil d'Etat du 21 décembre 1906, 1908, 3e partie, p. 17, sous l'arrêt du 23 mars 1906; 1908, 3e partie, p. 137 sous l'arrêt du 17 mai 1907.

» L'usager manifeste sa volonté unilatérale de bénéficier du fonctionnement du service public » (1). Il n'y a pas contact mais situation générale impersonnelle. »

Au fond il nous paraît qu'il ne faut pas trop s'attacher à la conception du contrat ou à celle de la situation générale impersonnelle pour déterminer les droits des pouvoirs publics et ceux des usagers. D'une part, en effet, le contrat n'est pas le seul acte qui crée des obligations et il y a des manifestations de volonté unilatérales qui en créent d'aussi solides (la stipulation pour autrui, l'offre commerciale, par exemple).

D'autre part, la modification des actes unilatéraux ne peut pas être justifiée par l'intérêt général et, dans notre cas, précédée d'enquête, puis approuvée par l'autorité supérieure.

Enfin, si la jurisprudence a reconnu que les modifications du cahier des charges se répercutaient sur les polices c'est lorsque et parce que l'abonné dans son adhésion se réfère au cahier des charges, c'est-à-dire, à un acte susceptible de modification en dehors de lui, et consent tacitement par là-même à les subir.

Quoi qu'il en soit, on s'est demandé si les contrats d'adhésion devaient être interprétés comme un contrat ordinaire, en recherchant la commune intention des parties, ou comme une loi proprement dite, en tenant beaucoup moins compte de ce qu'a pu croire et vouloir l'adhérent que des exigences de l'intérêt de la collectivité à laquelle ces chartes spéciales s'adressent. De savants auteurs comme Hauriou, Saleilles et Duguit se sont prononcés en ce dernier sens.

D'autres ont proposé une théorie mixte, distinguant les clauses essentielles qui sont généralement manuscrites et les clauses accessoires qui sont généralement imprimées. La plupart du temps, les deux parties acceptent sciemment et librement les clauses essentielles ; quant aux autres, l'adhérent connaît ou comprend mal leur teneur et la portée qu'elles peuvent avoir. Ces dernières n'auraient d'effet contre l'adhérent que si elles avaient pour résultat de préciser ou de compléter les clauses essentielles, mais non si elles venaient métamorphoser subrepticement l'essence du contrat.

La première thèse, celle qui donne à ces contrats la nature des contrats ordinaires, a été soutenue notamment par M. Planiol. Mais nous croyons qu'il est malaisé de découvrir dans ces contrats une intention commune. L'entente libre n'existe réellement que sur quelques points, par exemple, dans le cas de police pour l'électricité, sur la puissance à fournir. Tout le reste est imposé par l'« institution ».

La thèse mixte ne nous paraît pas davantage pouvoir être adoptée. On lui a fait le juste reproche (2) de se placer trop au point de vue de l'adhérent en considérant comme essentiel ce qui est tel pour lui et comme secondaire l'ensemble des dispositions nécessaires pour l'entreprise.

Faut-il, au contraire, faire prévaloir ces dernières? La réponse ne saurait être toujours affirmative. Il y a des distinctions à établir. Parmi les clauses imprimées, les unes sont nécessaires pour la bonne marche du service, les autres sont surtout inspirées par l'intérêt de l'entreprise qui le gère ; enfin, certaines se justifient à la fois par l'intérêt du public et par celui de l'exploitant, qui se rencontrent sur divers points. Pour ces dernières, il n'est pas douteux qu'elles doivent toujours s'appliquer ; il en est de même pour celles que l'Administration a imposées avec le souci du bon fonctionnement du service public. Mais on ne saurait donner le pas à celles qui ont été introduites dans l'intérêt de la compagnie uniquement, en contradiction avec l'intérêt de la collectivité. C'est l'idée qui se dégage de la jurisprudence. Ainsi, elle admet que la compagnie puisse imposer un minimum de durée des abonnements (1). Inversement, elle n'admet pas que la compagnie exige la prise en location d'un compteur à gaz (2) ou d'un appareil conforme à ses devis à la place d'un autre qui avait été approuvé par l'autorité municipale (3). La Cour de Cassation a également décidé qu'une clause imprimée relative au minimum de consommation n'était pas obligatoire, alors qu'elle se trouvait au verso de la partie manuscrite signée (4). Le Conseil d'Etat a de même décidé, le 24 mai 1922, dans l'affaire Favatier (5) que « par les dispositions attaquées, la Ville de Narbonne a constitué à son profit, pour la fourniture des compteurs, un véritable monopole commercial qui n'est pas indispensable au bon fonctionnement du service ; qu'elle a donc violé le principe de la liberté du commerce et excédé ses pouvoirs, ... que la Ville ne peut se réserver la fourniture exclusive des compteurs ; qu'elle ne peut donc imposer un tarif pour l'entreprise et la réparation des compteurs qu'aux abonnés qui auraient demandé à la Ville de fournir les compteurs ; qu'ainsi, les dispositions de l'article 25, en tant qu'elles s'appliquent indistinctement à tous les abonnés, constituent un excès de pouvoir ».

Si l'on suit cette conception, on est amené à conclure que la clause de la police type dérogeant au cahier des charges pour l'attribution de compétence n'est pas valable, car celle du cahier des charges seule est conforme à l'intérêt du public et l'autre est manifestement inspirée par l'unique intérêt de la compagnie.

V. Solution proposée pour le conflit. — Nous avons maintenant à examiner les raisons données par le Conseil de Préfecture interdépartemental de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne pour rejeter la demande

(1) P. Jèze. *Loc. cit.*, p. 13-15.

(2) M. Hauriou, dans une note du *Recueil Sirey*, 1908, 3e partie, p. 17.

(1) Cour d'Aix, 19 février 1846 et 31 mars 1846. *Recueil mensuel de Dalloz*, 1846, 2e partie, p. 176-177. Cour de Rouen, 5 mai 1846. *Recueil mensuel de Dalloz*, 1846, 2e partie, p. 175.

(2) Cour de Nancy, 6 décembre 1876. *Rccueil mensuel de Dalloz*, 1876, 2e partie, p. 59.

(3) Cour de Paris, 5 mars 1840. *Recueil mensuel de Dalloz*, 1840, 2e partie, p. 354.

(4) Cour de Cassation et Chambre civile, 29 octobre 1901. *Recueil Sirey*, 1905, 1re partie, p. 27.

(5) *Recueil des Arrêts*, 1922, p. 263.

de la Ville de Pontoise tendant à faire décider par lui qu'il y a lieu à modification de l'article 14 de la police type d'abonnement.

L'article 18 du cahier des charges de l'espèce stipule que « dans le cas où il y aurait lieu, au cours de la concession, d'apporter des modifications aux modèles de police, à défaut d'accord entre la municipalité et le concessionnaire, il serait statué par le ministre des Travaux publics, après avis du Comité d'Electricité ». Le ministre des Travaux publics, saisi par la Ville de son différend avec le concessionnaire, avait répondu qu'il ne s'agit pas ici d'une modification à apporter au modèle de police, mais d'une rectification, de la suppression d'une clause irrégulière ou illégale, et qu'il n'y a pas lieu d'employer la procédure précitée.

Le Conseil de Préfecture a repoussé cette interprétation et considéré « qu'il résulte à l'évidence du paragraphe 2 de l'article 18 précité qui ne renferme aucune restriction ou réserve et que, toutes les fois qu'il y a lieu d'apporter une modification, quelle qu'elle soit et pour quelque cause que ce soit, aux modèles de police, le ministre des Travaux publics, à défaut d'accord des parties, est tenu de prendre une décision ». On nous permettra de douter du bien fondé de ce considérant. L'auteur du cahier des charges n'a certainement pas visé une modification quelconque de la police; il a eu en vue toute modification que motiverait une situation nouvelle survenant « au cours de la concession » et non pas une rectification nécessaire à la suite d'une ... erreur.

Le Conseil de Préfecture parle ensuite des « *pouvoirs d'arbitrage* » qui sont conférés au ministre, en tout état de cause, par la disposition susvisée qui, disait-il, « formule une modalité, d'ailleurs absolument licite et légale, de l'acte de concession ». Et il conclut qu'en l'absence de la décision préalable du ministre, la requête dont est saisi le Conseil n'est pas recevable.

En réalité, le ministre pouvait-il faire plus qu'il n'a fait? Nous ne le pensons pas. Même s'il avait prescrit à la compagnie de supprimer la clause litigieuse — et l'affaire étant soumise aux tribunaux, il n'avait pas à statuer — nous ne pensons pas qu'il ait le moyen d'imposer sa volonté. C'est à tort, selon nous, que le Conseil de Préfecture parle ici d'arbitrage.

L'arbitrage est, en effet, interdit en principe, dans les matières qui doivent être soumises au ministère public (article 1004 du Code de procédure civile) et les affaires qui intéressent les communes sont de ce nombre (article 83 du même Code). Il faut une loi pour autoriser une dérogation à cette disposition d'ordre public. Or, il n'en existe pas en l'espèce, et à juste titre le professeur Jean Appleton dit que la « clause compromissoire ne pourrait être insérée dans les cahiers des charges » (sauf ceux de la concession d'entreprises hydrauliques pour lesquelles l'article 25 de la loi du 16 octobre 1919 la prévoit comme possible).

D'ailleurs, les textes législatifs qui permettent l'arbitrage (article 332 du Code de commerce, article 69 de la loi du 17 avril 1906, article 25 de la loi du 16 octobre 1919) se réfèrent au Code de procédure civile pour en préciser le mode de fonctionnement. D'autre part, l'arbitrage, tel qu'il est organisé par le Code de procédure civile n'est jamais imposé aux parties par les différents textes dont il s'agit.

Or l'article 18 précité du cahier des charges des concessions de distributions d'énergie électrique ne prononce pas le mot « arbitrage », ne renvoie pas au Code de procédure civile et impose la décision du ministre.

On ne saurait prétendre, au surplus, que l'article 69 de la loi de finances du 17 avril 1906 autorise l'arbitrage pour tout le contentieux des marchés de travaux publics, car il n'en prévoit la possibibité que « pour la liquidation des dépenses de travaux publics et de fournitures de l'Etat, des départements et des communes » et il est d'interprétation stricte (1).

Ainsi l'article 18 du cahier des charges n'institue pas l'arbitrage du Code. S'il en était autrement, la disposition du cahier des charges serait illégale.

En conséquence, le raisonnement du Conseil de Préfecture se conçoit très mal : ou bien il pensait que le ministre agit en qualité d'arbitre suivant les dispositions du Code et alors il devait se déclarer incompétent ; ou bien il pensait qu'on avait porté devant lui un simple recours hiérarchique et alors, comme le ministre avait refusé de statuer, il appartenait au Conseil de se prononcer. D'ailleurs, en supposant que le ministre eût prescrit à la Compagnie de distribution de supprimer la clause litigieuse et que la Compagnie ne se fût pas inclinée, quel pouvoir avait le ministre! Puisqu'il ne décide pas en tant qu'arbitre, il ne peut faire revêtir la sentence de l'exequatur par le président du tribunal et force est bien alors de recourir à l'autorité judiciaire pour trancher le conflit.

Comme les litiges sont nés entre une compagnie concessionnaire et ses abonnés au sujet de conventions de droit commun, les tribunaux à saisir étaient les tribunaux civils ou les tribunaux de commerce, suivant les cas (2). Mais l'objet du litige étant la validité d'une clause empruntée à un acte administratif annexe et subordonné au cahier des charges, une question préjudicielle se posait qui devait être soumise au Conseil de Préfecture, juge des contrats de concession et de leurs dépendances. Le ministre n'ayant pas un pouvoir d'arbitre en la circonstance, le Conseil de Préfecture pouvait très bien statuer omisso medio, étant donné la jurisprudence actuelle, et prononcer la nullité de la clause insérée dans la police type en contradiction du cahier des charges.

Le juge ordinaire devait donc déclarer la nullité de la même clause dans les polices d'abonnement et, par suite, retenir l'affaire ou ne pas la retenir suivant que c'était celui de Seine-et-Oise ou celui de la Seine.

Ch. BLAEVOET.

(1) En ce sens : Arrêt du Conseil d'Etat du 27 janvier 1928 *Recueil Sirey* 1929, 3e partie, p. 118.

(2) En ce sens : Cour de Cassation Requêtes, 26 novembre 1924, *Recueil hebdomadaire de Dalloz* 1924, p. 713, *Recueil de: sommaires Sirey*, 1925, n° 579.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 4. — 26 JUILLET 1930.

Chronique. — Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures : Réunion de juin 1930, p. 121. — Bibliographie : Maupertuis, par Pierre BRUNET, p. 125; L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta, par Eugène BLOCH, p. 125; Vorschriftenbuch des Verbandes deutscher Elektrotechniker (Prescriptions du Verband deutscher Elektrotechniker), p. 126.

Section scientifique et technique. — Un nouveau point de vue pour la détermination des qualités des câbles isolés sous plomb à haute tension, par Walter SCHMID, p. 127. — Revues, analyses et informations : Echelles thermoélectriques des températures, p. 135.

Section industrielle. — L'aspect financier de l'application de la récupération d'énergie à la traction des chemins de fer métropolitains, par A. DELLA RICCIA, p. 137. — Revues, analyses et informations : Les propriétés du permalloy C, p. 152; Les installations électriques des ateliers de Southall de l'Associated Equipment Company, p. 153; Essais des relais sélectifs Brown Boveri dans un réseau en service normal, p. 153; Expériences relatives à la propagation d'ondes engendrées par surtensions artificielles sur des lignes de transmission d'énergie, p. 154; Dispositifs de garde munis de fusibles, p. 154.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston, p. 155; Société de Distribution d'Electricité de l'Ouest, p. 157; Forces motrices de la Sélune, p. 158.

Section de législation. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêté du 7 juin 1930 relatif à l'application des articles 182 et 183 de la loi de finances du 16 avril 1930 (électrification rurale), p. 159; Sur l'exonération de l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières, p. 159; Sur la procédure des réclamations en matière de contributions directes, p. 159; Sur les causes retardant la mise en service de certains réseaux communaux de distribution d'énergie électrique, p. 160; Sur les mesures envisagées en faveur des assujettis à la Caisse des Retraites ouvrières et paysannes qui ne sont pas assujettis à la loi sur les assurances sociales, p. 160.

Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures : Réunion de juin 1930.

— I. On sait qu'un Comité consultatif d'Electricité a été créé par la Conférence générale des Poids et Mesures de 1927 (1), en vue d'assister le Comité international des Poids et Mesures dans l'attribution qui venait de lui être faite des unités électriques. Ce comité consultatif a tenu, en novembre 1928, une première session dont nous avons donné un compte rendu sommaire (2) et au cours de laquelle d'importantes décisions avaient été prises. Au point de vue administratif, le Comité avait précisé les attributions du Bureau international : comme secrétariat central pour les échanges et comparaisons d'étalons nationaux; comme laboratoire capable d'exécuter des comparaisons précises; et comme dépôt d'étalons de référence et de travail, y compris les étalons d'inductance et de capacité. Au point de vue technique, il avait mis en lumière l'intérêt qu'il y aurait à prévoir l'unification ultérieure des mesures électriques sur le système absolu C. G. S., et émis le vœu que dès maintenant des recherches fussent poursuivies pour fixer les rapports entre les unités internationales actuelles telles qu'elles sont définies par la Conférence de Londres de 1908 et ces unités absolues.

Le Comité international des Poids et Mesures, dans sa session de 1929, avait approuvé dans leurs grandes lignes, et rendu exécutives, toutes les résolutions du Comité consultatif. En outre, sur la proposition du délégué de l'Union des Républiques socialistes soviétiques (M. Châtelain), il avait commencé à s'occuper de l'unification internationale des unités de lumière en votant à l'unanimité la motion suivante :

« 1° Le Comité international des Poids et Mesures, considérant l'importance qu'il y a à unifier les méthodes employées en photométrie, décide d'entreprendre l'étude de la question de l'adoption d'un système international des unités de lumière;

» 2° Dans ce but, le Comité international charge le Comité consultatif d'Electricité de le conseiller sur toutes les questions relatives aux méthodes de mesures et aux unités et étalons de lumière;

» 3° Le Comité international des Poids et Mesures donne pouvoir au Comité consultatif de solliciter, pour l'étude de

(1) Conférence générale des Poids et Mesures. Résolution concernant les étalons électriques. *Revue générale de l'Electricité*, 22 octobre 1927, t. XXII, p. 609-611.

(2) Comité consultatif d'Electricité institué par la Conférence générale des Poids et Mesures. Réunion de novembre 1928. *Revue générale de l'Electricité*, 22 décembre 1928, t. XXIV, p. 921-926.

ces questions, la collaboration des laboratoires nationaux et de la Commission internationale d'éclairage. »

II. Tout récemment, le Comité consultatif d'Electricité a tenu sa deuxième session sous la présidence de M. Paul Janet, membre de l'Institut, directeur du Laboratoire central d'Electricité (1). Au cours des trois journées des 23, 24 et 25 juin 1930, occupées matin et soir par des séances plénières ou des réunions de commissions, ont eu lieu d'importantes délibération.

Les rapports adressés au Comité consultatif, au nombre de 17 venus de tous pays, étaient les suivants :

G.-K. Burgess; Informations et suggestions pour les questions soumises au Comité consultatif d'Electricité.

National physical Laboratory; Memorandum du Comité exécutif du National physical Laboratory, concernant les faits destinés à être discutés pendant la session, à Paris, du Comité consultatif d'Electricité institué par le Comité international des Poids et Mesures.

Laboratoire électrotechnique du Japon; Propositions soumises à la deuxième session du Comité consultatif d'Electricité par le Laboratoire électrotechnique du Japon.

K. Takatsu; Exposé des matières qui devront faire l'objet de la session du Comité consultatif d'Electricité dans le domaine de l'adoption des unités absolues.

Takatsu et S. Jimbo; Rapport sur la comparaison internationale des étalons électriques et propositions concernant les comparaisons internationales futures.

A. Chatelain et M.-F. Malikov; Les résultats des comparaisons internationales des étalons électriques de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Union des Républiques socialistes soviétiques, faites depuis 1926 jusqu'à 1930.

P. Janet; Comparaisons internationales d'unités électriques effectuées par le Laboratoire central d'Electricité.

M.-F. Malikov; Résultats des comparaisons d'éléments normaux, faites en 1928, à la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Union des Républiques socialistes soviétiques et au Laboratoire central d'Electricité.

M.-F. Malikov et A.-C. Kolossov ; Comparaisons des étalons électriques de l'Union des Républiques socialistes soviétiques avec ceux de l'Allemagne, de la Grande-Bretagne, des Etats-Unis et du Japon, faites en 1929 et en 1930.

M.-F. Malikov et A.-C. Kolossov ; Comparaisons d'éléments normaux faites en 1929 à la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Union des Républiques socialistes soviétiques et au Bureau of Standards.

Mme A. Foehringer ; Rapport sur la préparation et l'examen des éléments étalons Weston destinés au Bureau international.

(1) Les membres de ce Comité étaient les suivants : MM. von Steinwehr (Reichsanstalt), Brooks (Bureau of Standards), R. Jouaust (Laboratoire central d'Electricité), D.-W. Dye (National physical Laboratory), Lombardi (Regia Scuola d'Ingegneria di Roma), Yoneda (Laboratoire électrotechnique du Japon), Châtelain (Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Union des Républiques socialistes soviétiques), Ch.-Ed. Guillaume (Bureau international des Poids et Mesures).

Assistaient en outre aux séances :

En qualité d'experts : Mme A. Foehringer (Union des Républiques socialistes soviétiques), MM. Cellerier (France), Dziobek (Allemagne), Walsh (Grande-Bretagne);

En qualité d'invités : MM. J. Blondin « Revue générale de l'Electricité », Pérard, Maudet, Volet (Bureau international des Poids et Mesures).

G.-K. Burgess ; Unités et méthodes photométriques. Memorandum soumis au Comité consultatif d'Electricité institué par le Comité international des Poids et Mesures.

Bureau of Standards ; Note sur le Mémoire présenté par le directeur du Bureau of Standards sur les Unités et les Méthodes en Photométrie, à être communiquée au Comité consultatif d'Electricité près le Comité international des Poids et Mesures.

P. Janet ; Extrait d'une lettre écrite le 17 mai 1930 à M. Ch.-Ed. Guillaume.

P. Janet ; Comparaisons des étalons de flux lumineux du Laboratoire central d'Electricité avec ceux du National physical Laboratory et de la Physikalisch-technische Reichsanstalt.

G.-K. Burgess ; Propositions concernant l'établissement primaire de lumière soumises au Comité consultatif d'Electricité, institué par le Comité international des Poids et Mesures.

Ch.-Ed. Guillaume; Etat des travaux préparatoires.

Comité consultatif international des Liaisons radiotélégraphiques; Réunion de La Haye (septembre 1929). Avis n° 11.

Il ne nous est pas possible d'analyser ici, même brièvement, chacun d'eux; le lecteur trouvera un peu plus loin les résolutions des deux commissions techniques où est condensée en quelque sorte la substance de ces rapports.

III. La première question qui se posait était celle de la compétence du Comité consultatif à l'égard des unités photométriques ; deux opinions se sont trouvées en présence.

D'une part, conformément aux conclusions du Mémoire présenté par le Bureau of Standards, le délégué anglais (M. Walsh) émettait l'avis que les liens existant actuellement entre les laboratoires nationaux et la Commission internationale de l'Eclairage suffisaient amplement aux besoins actuels que l'élargissement des attributions du Comité consultatif d'Electricité, et par suite du Comité international et du Bureau international des Poids et Mesures, ne lui paraissait pas justifié ; puis, sur l'observation que le Comité consultatif étant saisi de la question par le Comité international devait en délibérer, il demanda tout au moins qu'un Comité consultatif spécial pour la photométrie, et indépendant de celui de l'électricité, fût constitué. Mais, à part les délégués allemands qui tendaient aussi à reporter à une date ultérieure l'attribution de ce nouveau domaine d'unités au Bureau international, tous les autres délégués restaient au contraire favorables à cette extension immédiate des attributions du Bureau et ne voyaient pas la nécessité d'un comité consultatif indépendant du comité actuel, qui pouvait s'élargir en faisant appel à de nouvelles compétences et constituer dans son sein les deux sous-commissions, spécialisées l'une dans les unités électriques, l'autre dans les unités photométriques. Ils affirmaient d'ailleurs que le nouvel organisme ne ferait aucunement double emploi avec la Commission internationale de l'Eclairage.

L'accord se fit moyennant une clause (proposée par le délégué italien, M. Lombardi) réservant à la Conférence générale des Poids et Mesures la décision sur ce point et la résolution suivante fut votée :

Le Comité consultatif d'Electricité ayant été chargé par le Comité international des Poids et Mesures de le conseiller sur toutes les questions relatives aux méthodes de mesures et aux unités et étalons de lumière, et autorisé à solliciter pour l'étude de ces questions la collaboration des laboratoires nationaux et de la Commission internationale de l'Eclairage, croit devoir, avant tout, reconnaître la valeur exceptionnelle des recherches qui ont été exécutées dans le domaine photométrique par plusieurs laboratoires nationaux et privés et exprimer l'espoir que ces recherches soient poursuivies avec la plus grande activité ; apprécie également l'importance des travaux dirigés dans le même but par la Commission internationale de l'Eclairage, qui pourra continuer très utilement à les poursuivre avec le concours des différents comités nationaux adhérents ; estime cependant qu'un rôle spécial doit être réservé au Bureau international des Poids et Mesures pour l'unification des unités et des étalons de lumière.

Pour atteindre ce but, le Comité consultatif d'Electricité émet les vœux suivants :

a) Que sa composition soit élargie par l'adjonction de membres effectifs et d'experts particulièremenl compétents dans les questions photométriques, de façon à assurer au Bureau international l'assistance technique et scientifique nécessaire, en réservant à la Conférence générale des Poids et Mesures le soin de prendre une décision sur l'opportunité éventuelle de constituer dans ce but un comité consultatif spécial ;

b) Que, dans la création des nouveaux laboratoires du Bureau international, une section spéciale soit réservée aux recherches et aux travaux photométriques ;

c) Que, en attendant que ce laboratoire soit convenablement outillé pour participer aux recherches susdites, le Bureau international prenne la charge de centraliser et coordonner les résultats qui seront acquis par les différents laboratoires nationaux.

IV. Les rapports des sous-commissions techniques présentés par M. Jouaust pour les unités photométriques et par Mme Foehringer pour les unités électriques ont été adoptés à l'unanimité.

En voici les textes :

1. Sous-Commission des Etalons photométriques. — La Sous-Commission, chargée des questions techniques relatives aux étalons photométriques, s'est réunie le 23 juin 1930, à 15 heures, au Laboratoire central d'Electricité.

Etaient présents : MM. Brooks (Etats-Unis), Châtelain (U. R. S. S.), Dziobek (Allemagne), Jouaust (France), Lombardi (Italie), Walsh (Angleterre), Yoneda (Japon).

M. Cellerier assiste à la séance en qualité d'expert.

Comme base de discussion, on décide de prendre le memorandum rédigé par M. Burgess et celui rédigé par le Comité exécutif du National physical Laboratory.

Au sujet du premier paragraphe (étalon primaire), M. Dziobek fait remarquer qu'il serait regrettable que le Comité décidât que le « corps noir » servant d'étalon primaire fût utilisé à la température de solidification du platine. Cela pourrait décourager des chercheurs comme Müller, qui ont entrepris de réaliser un étalon de lumière à température plus élevée.

M. Lombardi exprime certains doutes sur la possibilité d'avoir dans le corps noir réalisé par M. Burgess une uniformité satisfaisante de la température dans toute l'étendue du platine pendant sa solidification ; étant donné que, à la température considérée, la brillance du corps noir croît suivant la puissance 12 ou 13 de la température absolue, il faudrait connaître cette température avec l'approximation de 0,7°C, à peu près, pour obtenir dans l'étalon de lumière, l'exactitude de 0,1. C'est pourquoi il serait sans doute préférable de définir l'étalon d'après les dimensions et conditions spécifiées, sans faire allusion à la température de solidification du platine, qui ne sera peut-être jamais déterminée avec cette approximation.

M. Walsh signale qu'en Angleterre, les recherches sont poursuivies pour utiliser des corps noirs à la température de solidification du platine dans des conditions totalement différentes. On pourra donc, quand les résultats seront communiqués, les comparer ; et cette comparaison indiquera avec quelle précision l'étalon du corps noir est susceptible d'être reproduit.

M. Cellerier présente quelques remarques sur les corps noirs.

Finalement, la Sous-Commission décide de supprimer le deuxième paragraphe du memorandum de M. Burgess.

Sur l'observation de M. Dziobek, que les progrès de la science permettront peut-être un jour de réaliser un étalon primaire de lumière qui ne serait pas basé sur les propriétés du corps noir, le premier paragraphe est légèrement modifié et, finalement, la Sous-Commission accepte le texte suivant :

a) *Etalon primaire.* — 1° Le Comité consultatif d'Electricité appuie l'opinion de la Commission internationale de l'Eclairage, suivant laquelle un radiateur à corps noir, utilisé dans des conditions déterminées, devrait être adopté, en l'état actuel de la technique, comme étalon primaire de lumière.

2° Le Comité consultatif prie les différents laboratoires nationaux d'examiner les spécifications soumises par le Bureau of Standards pour la construction et la mise en pratique du corps noir et de présenter leurs opinions relatives aux moyens pratiques d'adopter l'étalon ainsi déterminé.

3° Le Comité consultatif recommande d'effectuer d'autres déterminations sur la brillance du radiateur à corps noir, particulièrement dans les conditions prescrites pour les spécifications proposées, ou au moins dans des conditions comparables aux conditions prescrites.

Au sujet du deuxième paragraphe, M. Dziobek signale qu'il a consulté les principales organisations industrielles de son pays et que celles-ci seraient d'avis d'adopter la bougie internationale. Mais évidemment, le passage de l'hefner à la bougie internationale ne peut avoir lieu que lorsque cette dernière sera parfaitement fixée. Dans ces conditions, le texte du memorandum de M. Burgess est légèrement modifié.

b) *Unités de lumière.* — 1° Le Comité consultatif estime qu'il ne serait pas pratique de changer l'unité employée communément dans plusieurs pays depuis 1909 et adoptée par la Commission internationale de l'Eclairage.

2° Le Comité consultatif exprime le désir que tous les pays puissent arriver à accepter cette unité, afin de réaliser l'uniformité des unités, aussitôt que certaines questions actuellement à l'étude seront résolues.

c) On examine le troisième paragraphe. A une objection de

M. Lombardi relative aux couleurs des lampes, M. Jouaust répond que le texte donne toute satisfaction à ceux qui s'occupent de photométrie.

La Sous-Commission accepte donc le paragraphe c tel qu'il figure à la page 78 des publications (1).

d) Pour le quatrième paragraphe on décide : 1° d'ajouter dans le texte le mot « secondaire » pour bien préciser qu'il s'agit des étalons usuels au tungstène, dérivés des étalons à filament de carbone.

On décide également de supprimer le paragraphe 3, qui n'est pas interprété de la même façon par tous les membres de la Sous-Commission. On adopte donc le paragraphe d sous la forme suivante :

Etalons secondaires pour des lumières de couleurs différentes. — 1° Le Comité consultatif reconnaît l'importance des recherches qu'exécutent en collaboration les laboratoires nationaux sur la mesure de la transparence de filtres colorés, et exprime l'espoir que ces recherches conduisent à un accord sur une méthode généralement acceptée pour effectuer de telles mesures, aussi bien que sur les valeurs adoptées pour les différents filtres;

2° Le Comité consultatif sera heureux de recevoir, pour sa propre information et pour leur transmission au Comité international des Poids et Mesures, des rapports sur le progrès de ces recherches, susceptibles d'être publiés.

M. Jouaust demande s'il n'y aurait pas lieu d'envisager un programme d'échange de lampes pour répondre aux desiderata exprimés dans le paragraphe c.

M. Dziobek exprime l'avis, unanimement approuvé, que les lampes que le Bureau of Standards vient d'envoyer dans divers laboratoires permettront une très bonne comparaison des étalons de ces divers établissements.

De plus, il est décidé que, chaque fois qu'un laboratoire enverra des lampes à filaments de charbon dans un autre établissement, il serait désirable qu'il pût y joindre un verre bleu dont il aura déterminé le facteur de transmission.

Il est, en outre, décidé que les verres bleus mis en circulation à la suite des décisions de Bellagio seront envoyés par le Laboratoire central d'Electricité, qui les détient actuellement, à la Chambre centrale des Poids et Mesures, à Leningrad.

La séance est levée à 17 heures.

2. Sous-Commission des Unités électriques. — La Sous-Commission chargée des questions techniques relatives aux unités électriques s'est réunie le 23 juin 1930, à 15 heures, au Laboratoire central d'Electricité.

Etaient présents : Mme Foehringer, MM. Dye, von Steinwher.

Les discussions sont basées : 1° Sur le rapport de M. Burgess, directeur du Bureau of Standards; 2° sur le rapport du Comité exécutif du National physical Laboratory; 3° sur le rapport de la Chambre centrale des Poids et Mesures; 4° sur les propositions japonaises de mai 1930; 5° sur la lettre du professeur Paschen, président de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

La Commission présente au Comité consultatif les conclusions suivantes :

1° Concernant l'*unité de résistance, l'ohm* : Vu que les méthodes de détermination de l'ohm absolu sont suffisamment avancées et que la concordance entre les mesures des bobines unités secondaires des différents laboratoires reste dans les limites de précision des mesures, il n'est pas nécessaire, pour le moment, de reprendre les comparaisons des bobines de résistance avec les ohms de mercure;

2° Quant aux *unités de force électromotrice*, au contraire, les comparaisons internationales des éléments montrent des différences, dépassant les limites de la précision possible, entre les valeurs de la force électromotrice des étalons de différents pays. Les membres de la Commission trouvent qu'il est indispensable de refaire les déterminations de la force électromotrice des éléments Weston constituant les étalons internationaux dans chaque laboratoire national par la méthode du voltamètre à azotate d'argent.

Les conditions de travail avec le voltamètre à azotate d'argent sont suffisamment précisées dans le rapport du Congrès international tenu à Washington en 1910. Les membres de la Commission recommandent pourtant à l'attention des laboratoires comme dispositif à employer celui de Smith ou de Kohlrausch, en évitant toute substance organique, qui est nuisible au dépôt électrolytique.

Les groupes d'éléments Weston préparés aux divers laboratoires peuvent être considérés comme suffisamment constants jusqu'à ce que l'unité absolue du courant soit établie.

3° En ce qui concerne la *collaboration du Bureau international*, la Commission présente les propositions suivantes :

a) Le Bureau international devra être équipé de façon à pouvoir comparer les étalons de résistance d'un ohm avec une précision d'un millionième.

Le type d'équipement doit être discuté et fixé par le Comité consultatif.

b) Le Bureau international devra aussi s'équiper de même pour la comparaison d'éléments étalons de force électromotrice à un millionième près. Le genre d'équipement devra également être discuté et approuvé par le Comité consultatif;

c) Les divers laboratoires nationaux déposeront chacun au Bureau, à titre de prêt, deux bobines étalons de 1 ohm et un groupe d'au moins 12 éléments étalons;

d) Les comparaisons de ces étalons au Bureau international devront se faire au moins tous les six mois;

e) Les comparaisons des bobines et des éléments des divers pays devront être soigneusement organisées à intervalles réguliers;

f) Les méthodes de mesures devront avoir l'approbation du Comité consultatif;

g) Chaque pays sera tenu au courant des résultats détaillés de toutes les comparaisons;

h) Chaque laboratoire national de son côté adressera au Bureau international un rapport annuel sur les mesures

(1) Le paragraphe c ainsi adopté est le suivant :

Conservation des unités. — 1° Le Comité consultatif propose que les laboratoires nationaux échangent et comparent immédiatement des groupes de lampes à filament de carbone, ou d'autres lampes utilisées, avec une couleur correspondante, et qu'ils présentent au Comité international des Poids et Mesures des informations précises se rapportant aux valeurs relatives des unités d'intensité lumineuse telles qu'elles sont conservées aujourd'hui dans les différents laboratoires.

2° Supposant que les différences établies sur la base de telles comparaisons soient éliminées par un accord entre les laboratoires nationaux, le Comité consultatif propose d'effectuer à l'avenir des comparaisons périodiques sous les auspices du Comité international.

3° Appréciant l'importance de l'uniformité et de la continuité dans les valeurs d'étalons secondaires matériels, le Comité consultatif recommande que les ajustements futurs de ces valeurs, qui pourraient devenir nécessaires pour les rapporter à l'étalon primaire, soient obtenues par une convention internationale, approuvée par le Comité international des Poids et Mesures,

faites dans le laboratoire et ces rapports seront distribués aux membres du Comité consultatif;

i) Afin de présenter des recommandations à la Conférence internationale de 1933, le Comité consultatif d'Electricité (et de Photométrie) devrait se réunir encore une fois avant la réunion de la Conférence pour étudier les comparaisons qui auront été faites jusque-là, et pour assigner à l'étalon de résistance et à celui de force électromotrice leurs valeurs, par rapport aux unités absolues.

V. Au cours des séances, le règlement du Comité consultatif a été voté. Le rapport qui doit être présenté au Comité international des Poids et Mesures sera établi par les soins de M. Lombardi.

Pendant la réunion qui s'est tenue au Pavillon de Breteuil, les membres du Comité ont inspecté les nouveaux bâtiments où s'organisent les locaux destinés aux travaux sur les unités électriques et photométriques.

On se rappelle que les fonds nécessaires, pour ces constructions, ont été généreusement accordés par l'International Education Board, qui, en novembre 1928, avait voté à cet effet une somme de 900 000 fr.

La dernière séance a eu lieu au Conservatoire national des Arts et Métiers, où les délégués ont été reçus par M. Gabelle, directeur. Après la séance, ils ont visité le Laboratoire d'Essais sous la conduite de son directeur, M. Cellerier.

Bibliographie : **Maupertuis**, par Pierre Brunet, docteur ès lettres (1). — L'auteur, qui s'est proposé de reconstituer la pensée scientifique de la première moitié du XVIIIe siècle, a jugé que, dans le domaine particulier des sciences, l'étude monographique d'un savant, loin d'être, comme on serait tenté de le penser, une œuvre plus ou moins artificielle, peut devenir, au contraire, en certaines circonstances, un point de vue fécond sur l'évolution des problèmes scientifiques. Le choix de Maupertuis lui a été dicté par la variété même des sujets auxquels ce savant s'est attaqué ou s'est trouvé mêlé, de loin ou de près, en sorte qu'il reflète nettement l'ambiance intellectuelle de cette époque.

Le présent ouvrage constitue plutôt une sorte de biographie dans laquelle chacune des œuvres prend d'abord sa place chronologique dans l'ensemble; l'examen méthodique des opinions scientifiques de Maupertuis est réservé à un autre volume.

Pierre-Louis Moreau de Maupertuis naquit à Saint-Malo le 28 septembre 1698; il fit d'excellentes études au foyer familial sous la direction de l'abbé Coquaud; puis, passa deux années au collège de la Marche à Paris où il suivit, sans enthousiasme et sans profit, le cours de philosophie de Le Blond. Il reçut ses premières notions de mathématiques de Guisnée qui venait de publier un « Traité d'application de l'algèbre à la géométrie »; ses autres livres d'études furent la « Géométrie » et l' « Analyse des infiniment petits » de l'Hôpital. Guisnée étant mort en 1718, Maupertuis prit du service dans les mousquetaires gris qui tenaient garnison à Lille, mais revint à Paris en 1721 où il se lia avec Nicole qui s'occupait à cette époque d'un « Traité du calcul des différences finies ».

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 199 pages, édité par la librairie Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, à Paris (6e). Prix : broché : 75 fr.

Un séjour de six mois à Londres, en 1720, avait suffi pour le gagner entièrement aux idées de Newton décédé depuis deux ans environ; mais il rencontra en Angleterre Clarke, Desaguliers et Mac Laurin et, avant son départ, fut élu membre de la Royal Society. Pour se perfectionner dans les mathématiques, il se rendit à Bâle, en 1729, auprès de Jean Bernoulli, dont le frère, Jacques, était mort depuis 1707. Trois mémoires furent publiés en 1731 et, la même année, Maupertuis était nommé pensionnaire de l'Académie, tandis que Clairaut y était reçu, à 18 ans avec dispense! comme adjoint mécanicien. En 1732, il se lia avec Voltaire qui lui avait demandé des renseignements sur les conceptions newtoniennes opposées aux idées cartésiennes, alors furieusement en faveur en France, puis avec la marquise du Châtelet très passionnée pour la science.

L'Académie lui confia, en 1735, la direction du groupe Clairaut, abbé Outhier et Celsius, chargé de mesurer un arc du méridien en Laponie parce qu'il avait affirmé que le seul moyen de se rendre compte de l'aplatissement de la Terre consistait à comparer des mesures effectives plus près du pôle à celles réalisées en France et au Pérou. Les résultats confirmèrent ses prévisions ou plutôt corroborèrent une vérité déjà déduite des lois de Newton; de là naquit un désaccord avec Cassini et, naturellement, tout le clan cartésien; des écrits furent échangés et, dans la « Lettre d'un horloger anglais », Maupertuis sut montrer qu'il était aussi spirituel pamphlétaire qu'habile mathématicien; finalement il eut gain de cause.

Par l'intermédiaire de Voltaire, le roi Frédéric de Prusse avait sollicité Maupertuis de se rendre à Berlin pour réorganiser l'Académie; après bien des hésitations, Maupertuis accéda à cette invitation, revint en France où il se serait probablement fixé malgré les nouvelles offres séduisantes de Frédéric; « mais, dit Fouchy, il avait rencontré dans son premier voyage Mlle de Borck; il ne connut bientôt plus de bonheur sans elle et cet intérêt si cher le fit passer par-dessus tout ce qui aurait pu l'arrêter en France ».

Maupertuis se maria donc le 8 octobre 1745 et prit définitivement la présidence de l'Académie de Berlin; puis il se brouilla avec Voltaire, avec Madame du Châtelet, avec Kœnigs, revint plusieurs fois en France pour raison de santé et mourut à Bâle le 27 juillet 1759, pendant un de ses déplacements.

Ses biographes, surtout Fouchy, Formey et La Beaumelle l'ont jugé très diversement, mais toujours d'une façon plutôt élogieuse; quant à M. Brunet, il donne de son sujet le portrait ci-après : « personnalité moins aigrie que troublée, moins violente qu'inquiète et, finalement, assez déconcertante et énigmatique, mélange singulier de fine causerie et d'originalité, de délicatesse généreuse et de susceptibilité, de scrupule et de fougue, de bonté et de violence, de fierté pointilleuse et de justice, d'activité débordante et de mélancolie, de lassitude, d'hésitation et d'entrain ».

Par le choix des anecdotes et des extraits des auteurs contemporains, M. Brunet a su communiquer à son livre une animation et un entrain qui donnent au lecteur l'illusion de revivre au milieu des personnages de l'époque considérée. — B. C.

Bibliographie : **L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta**, par Eugène Bloch, professeur de physique théorique et physique céleste à la Sorbonne (1). — Les sujets traités

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 417 pages avec 41 figures dans le texte, édité par la librairie Hermann et Cie, 6, rue de la Sorbonne, à Paris (6e). Prix : broché, 90 fr.

dans cet ouvrage ont fait l'objet des cours professés par l'auteur à la Sorbonne pendant les années 1926-1927 et 1928-1929; celles des leçons du cours 1927-1928, consacré au magnétisme et à la magnétooptique, qui comportent aussi des questions se rattachant à la théorie des quanta, y sont également incorporées ainsi que quelques compléments destinés à constituer un ensemble plus homogène.

A dessein, on a conservé au livre la physionomie du cours ; comme celui-ci s'adresse à des étudiants dont la plupart abordent ces hautes études pour la première fois, on est certain d'y trouver les définitions et les notions fondamentales indispensables à la compréhension des développements ultérieurs.

Le livre est divisé en vingt chapitres. L'auteur rappelle d'abord les phases successives de l'évolution de la théorie, dont les promoteurs ont été Planck avec le quantum d'énergie, Einstein et Compton avec l'onde lumineuse et son corpuscule de lumière ou proton associé, Louis de Broglie avec l'électron ou corpuscule d'électricité et son onde associée. Les neuf chapitres suivants sont consacrés à une étude approfondie de la théorie des quanta sous la forme primitive due à Bohr et à Sommerfeld. Les principales questions traitées sont : la formule de Planck, l'effet photoélectrique, l'effet Döppler-Fizeau, l'effet Compton, la classification périodique des éléments, le magnétisme atomique et un certain nombre de problèmes spectroscopiques.

Les chapitres XI et XII peuvent être considérés comme une transition entre les deux moitiés du livre; l'auteur y a réuni les résultats essentiels de la mécanique analytique et les résultats généraux de l'ancienne théorie des quanta (principe de correspondance, invariants adiabatiques).

Enfin, les derniers chapitres traitent des théories quantiques modernes. Après une étude des ondes de Louis de Broglie, l'auteur y développe les idées de Schrödinger et les conséquences de l'équation qui portent le nom de ce physicien. Puis il passe à la mécanique des matrices et montre son équivalence avec la mécanique ondulatoire. Le livre se termine par deux chapitres réservés, l'un au principe d'Heisenberg, l'autre aux nouvelles mécaniques statistiques.

Beaucoup de questions importantes ont été intentionnellement passées sous silence, telles sont la théorie des chaleurs spécifiques, l'effet Stark, la théorie des spectres de rayons X et des spectres de bandes, la théorie électronique des métaux, les théories de la dispersion, de l'électron tournant de Dirac, de l'atome d'hélium, etc; on peut dire, néanmoins, que le programme présenté est déjà assez vaste pour permettre au lecteur d'en tirer une notion précise de la genèse de la théorie des quanta et d'entreprendre avec fruit l'étude d'ouvrages plus détaillés, notamment des mémoires originaux. — B. C.

Bibliographie : Vorschriftenbuch des Verbandes deutscher Elektrotechniker (Prescriptions du Verband deutscher Electrotechniker) (1). — La dix-septième édition de ces prescriptions vient de paraître, telles qu'elles étaient arrêtées à la date du 1er janvier 1930. Ces prescriptions constituent, comme on le sait, la réglementation et la normalisation du matériel et des installations électriques en Allemagne; comme elles sont susceptibles d'être modifiées, tout possesseur de l'ouvrage qui nous occupe, et dans lequel elles sont réunies, peut recevoir, s'il en fait la demande, les suppléments relatifs à ces modifications au fur et à mesure de leur publication.

(1) Un volume, format 21 cm × 16 cm, de 1153 pages, édité par le Verband deutscher Elektrotechniker, Potsdamerstrasse 68, à Berlin, W. 57. Prix : relié, 18 marks.

Une analyse détaillée des divers points traités et des problèmes résolus dans ces prescriptions serait évidemment d'un très grand intérêt, mais dépasserait le cadre d'une simple notice bibliographique ; il y aurait lieu, en effet, pour faire œuvre utile, de reprendre les discussions qui ont conduit à la solution adoptée et de rapprocher ces règles de celles en vigueur dans les autres pays, notamment en France, sans omettre les échanges de vues entre les techniciens des diverses nations par l'intermédiaire de la Commission électrotechnique internationale. Nous devons donc nous borner à mentionner les principales questions qui font l'objet de ces prescriptions et qui touchent d'ailleurs aux applications les plus diverses de l'électricité.

Ce sont d'abord les prescriptions relatives aux installations à courant fort, celles-ci étant divisées en deux catégories suivant que la tension est inférieure à 1 000 v ou égale ou supérieure à cette valeur. Les conditions auxquelles doivent satisfaire les installations des machines et appareils et les canalisations y sont précisées, ainsi que les dispositions à prendre en vue de la protection contre les courts-circuits et, dans le cas des installations de la deuxième catégorie, contre les surtensions.

Nous relevons également les prescriptions relatives à l'organisation technique des usines génératrices et des postes de distribution en vue d'assurer la facilité et la sécurité de l'exploitation. La question des mises à la terre des installations à haute et à basse tension, celle de la protection des tuyauteries d'eau et de gaz et les règles à suivre dans l'établissement des installations de traction sont exposées. Suivent les règles concernant les matériaux isolants et conducteurs et les substances magnétiques employés en électrotechnique; à ce propos, il convient de remarquer que le seul corps conducteur normalisé est le cuivre. Par contre, les diverses variétés d'isolants, depuis les diélectriques solides d'origine siliceuse jusqu'aux huiles isolantes, y font l'objet d'un certain nombre d'articles, rendus particulièrement intéressants par les méthodes d'épreuves qui y sont préconisées et décrites avec précision.

Nous ne ferons que mentionner les prescriptions relatives aux machines génératrices, transformateurs, moteurs et à leurs appareils de réglage et de commande; en ce qui concerne les moteurs, ceux-ci doivent évidemment satisfaire à des conditions différentes suivant leur puissance. Ceux de très faible puissance font l'objet de règles spéciales. Les appareils d'éclairage, de chauffage, les instruments de mesure doivent remplir des conditions précisées au cours de ces prescriptions, ces conditions se rapportant aux appareils eux-mêmes, d'une part, et à leur installation, d'autre part.

Les règles relatives aux canalisations aériennes et souterraines sont également exposées, ainsi que celles concernant le petit matériel intervenant dans la construction de l'appareillage électrique.

En résumé, les prescriptions qui se rapportent aux installations à courant fort sont au nombre de soixante-quinze ; nous sommes donc loin de les avoir énumérées toutes.

En ce qui concerne les installations à courant faible, elles font l'objet de douze prescriptions relatives essentiellement aux applications de la téléphonie et, d'une façon générale, à la transmission des signaux sur les réseaux de distribution d'énergie électrique.

A noter encore les règles concernant les installations radiologiques. — A. C.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Un nouveau point de vue pour la détermination des qualités des câbles isolés sous plomb à haute tension

La méthode proposée dans cet article pour la détermination des qualités des câbles isolés sous plomb consiste à analyser les éléments constitutifs de l'isolant du câble et à déduire des résultats de cette analyse les propriétés de l'ensemble. L'auteur précise les conditions d'application de ce principe et donne des exemples numériques provenant de recherches expérimentales sur des câbles bien définis.

I. **Introduction.** — Il y a huit ans déjà, alors que la méthode de mesure des pertes diélectriques ne commençait qu'à se répandre, sans savoir au juste ce qu'on pourrait en tirer, j'ai imaginé et appliqué un procédé d'investigation de la qualité des câbles qui, à ma connaissance, est demeuré nouveau jusqu'à ce jour.

Frappé de la complexité du problème à résoudre, je songeais à étudier uniquement les propriétés disruptives du câble et à en tirer les renseignements nécessaires, parce qu'elles synthétisent, à mon avis, toutes les propriétés. C'était considérer le câble comme un ensemble soumis à des efforts internes, d'ordre électrique et prendre comme intégrateur des effets la courbe propre au câble de la tension disruptive en fonction du temps; son allure est toujours suffisamment connue pour un câble donné, quand on connaît deux points principaux, toujours faciles à déterminer rapidement : la tension disruptive, dite instantanée, et la tension limite; mais une condition est nécessaire, c'est que l'on connaisse une courbe de la tension disruptive en fonction du temps pour un seul câble semblable, ce qui est toujours possible. Cette méthode a nécessairement un caractère purement expérimental.

Le problème est tel que l'emploi des notions de moyennes et de grands nombres s'impose. Bien des intrapolations ou extrapolations dans la méthode et dans les chiffres sont souvent justifiées à posteriori par les résultats obtenus.

II. **Exposé du problème.** — Ces questions prennent une autre forme précise : quelle est la tension maximum qui peut être appliquée pendant un essai sans détériorer le câble et quel est le coefficient vrai de sécurité en exploitation? On voit que la réponse à ces deux questions se ramène à une seule recherche : celle de la tension limite.

J'ai introduit, pour la première fois, cette notion, et son rapport à la tension dite instantanée, dans des essais de disrupture sur papier imprégné, le 24 novembre 1922.

Entre temps, Hayden et Steinmetz (1) disaient pour la première fois : « Il y a une tension limite que supporte indéfiniment un isolant ». Pour Peek (2) il y a un temps de disrupture infini pour une certaine tension appliquée. Comme on le verra par la suite, la tension limite est la base nécessaire et suffisante des calculs de rigidité diélectrique des câbles; il ne faut pas confondre tension limite et tension d'ionisation. C'est une erreur que commettent beaucoup trop d'intéressés mal informés.

Actuellement, on parle couramment de tension limite; cette tension est celle à partir de laquelle les effets cumulatifs de la chaleur développée par les courants de déplacement se compliquent de celle que produisent les courants de conduction, d'où rupture de l'équilibre thermique; autrement dit, c'est la tension pour laquelle le déplacement des charges dans les cellules naturelles se transforme en déplacement au delà de ces cellules. Elle marque la limite de l'équilibre diélectrique ou la limite de la contrainte purement élastique ou réversible de l'isolant.

Selon qu'on adopte le point de vue thermique ou celui de l'analogie mécanique, on aura deux théories différentes du câble.

Dans la première il s'agira de trouver, dans l'équation différentielle définissant l'établissement du régime de température, la forme de la partie de la solution générale qui ne dépend pas du temps; dans la deuxième théorie, basée sur l'analogie mécanique, on considère la valeur de la force électrique qui satisfait encore à la condition de proportionnalité des effets aux causes; mais on conçoit bien que ni l'une ni l'autre de ces solutions exclusives ne satisfait pleinement au problème, parce que l'une néglige la striction et l'autre,

(1) J.-L.-R. Hayden et Charles-P. Steinmetz; High-voltage insulation. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, janvier 1924, t. XLIII, p. 36-43.

(2) F.-W. Peek; Electrical characteristics of the suspension insulator. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, juillet 1920, t. XXXIX, p. 623-630; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 9 et 16 avril 1921, t. IX, p. 495-505 et 534-540.

les effets calorifiques. Dans ce dernier cas on partirait de l'équation du courant total de Maxwell en la complétant par une équation de condition relative à la proportionnalité.

III. **Principe de la méthode proposée.** — Un procédé plus rapide est celui qui consiste à analyser le câble et faire ensuite la synthèse des éléments trouvés, d'admettre que la tension limite dépend des valeurs des tensions limites de chacun des papiers imprégnés qui entrent dans la constitution du câble et de la qualité du remplissage. Ce sont les éléments du câble. On détermine la première grandeur directement par des mesures relatives à la tension disruptive. Quant à la qualité du remplissage, on a recours à tout procédé propre à caractériser la présence des vides dans l'épaisseur de l'isolant considéré comme un bloc. On peut, en effet, évaluer en grammes la quantité de matière de remplissage pour 100 grammes de papier sec. C'est un procédé que j'ai souvent employé au début de mes recherches. Mais j'ai reconnu par la suite que cette détermination ne valait pas la mesure de la densité de cette matière de remplissage qui, bien que le résultat dépende lui-même de la quantité du papier, est d'une application bien plus facile et surtout plus rapide.

La première mesure fournit le gradient de potentiel disruptif E, en volts par millimètre, pour chaque catégorie de papiers employés. Je laisse de côté pour le moment la justification expérimentale de la réduction d'une mesure faite sur une épaisseur de papier de 0,1 mm environ à une épaisseur de 1 mm, couramment employée dans les calculs. La moyenne des valeurs relatives à tous les papiers donne le gradient de potentiel disruptif moyen E_{moy} du papier du câble. Nous aurions ainsi les éléments nécessaires pour calculer, d'après la formule de Gormann et avec le facteur du câble, la tension disruptive du câble dans les conditions d'essai. Mais nous devons corriger cette valeur E_{moy} pour tenir compte de trois causes d'erreur de nature diverse et d'importance inégale.

IV. **Causes d'erreurs introduites dans l'application de la méthode.** — 1. Erreur due a la forme des électrodes d'essai. — On mesure la tension disruptive le plus souvent avec des électrodes sphériques de 12,5 mm de diamètre. Or, dans le câble, les électrodes sont des surfaces cylindriques concentriques, quelquefois excentriques, ou extérieures l'une à l'autre. Nous ne considérerons que le cas des surfaces concentriques, c'est-à-dire le câble à un conducteur centré. C'est en effet le câble de l'avenir en raison de la facilité de sa fabrication pour de très hautes tensions, surtout par les procédés spéciaux, tels que ceux de Höchstädter, d'Emanuelli et de Silbermann, basés sur des principes différents.

Le facteur de correction dû à cette cause d'erreur est α, et la tension disruptive corrigée devient $E_{moy}\,\alpha$.

2. Erreur due a la nature du milieu. — Un deuxième facteur de correction, β, doit être introduit pour tenir compte ce ce que les essais ont lieu dans l'air. Si l'on opère à l'abri de l'air, dans les conditions du papier dans le câble, on observe des tensions disruptives qui peuvent être 1,6 fois plus fortes que dans l'air. Le gradient de potentiel disruptif corrigé devient $E_{moy}\,\alpha\,\beta$.

3. Erreur due a l'épaisseur des papiers. — Cette épaisseur, sur la ligne de contact des sphères, est évidemment un peu plus petite qu'en dehors de cette ligne. On peut réduire cette erreur par un réglage approprié de la pression des sphères au point de contact; mais on peut aussi déterminer le facteur de correction restant γ.

La diminution d'épaisseur sur la ligne des centres des sphères est évidemment compensée en partie par la diminution de la tension disruptive correspondante. Elle le serait totalement si la tension disruptive augmentait proportionnellement à l'épaisseur, ce qui, d'après les essais connus, n'est pas exactement le cas. Par contre, comme on mesure l'épaisseur des papiers par l'écartement des sphères lu au micromètre divisé en centièmes de millimètre, on ne peut se servir des résultats de la lecture que si on les corrige. J'ai trouvé, pour des papiers secs aussi bien qu'imprégnés, qu'il faut, pour un appareil bien réglé, multiplier l'épaisseur lue par 1,18 pour obtenir l'épaisseur réelle. Voici à quoi peut servir la connaissance des épaisseurs réelles. Si l'on additionne les épaisseurs réelles de tous les papiers du câble on obtient une somme e. L'épaisseur f du vide du câble que doivent remplir ces papiers est donnée par des mesures de diamètre sur la corde et sur le plomb en déduisant de ce dernier l'épaisseur moyenne du plomb (câble sans toile).

Le rapport $\frac{e}{f} = c$ définit ce que je nomme le « coefficient d'utilisation du vide du câble ».

Si $f = e$, $c = 1$ et les papiers remplissent exactement et complètement le vide. La matière de remplissage est alors serrée à bloc. On conçoit que de pareils câbles sont peu flexibles et donnent facilement lieu à des déchirures internes très dangereuses.

On constate qu'un câble bien rempli et maniable correspond à une valeur $c = 1{,}03$ environ. Tous les câbles pour lesquels c sera plus grand seront insuffisamment remplis de papier, et par suite suspects, abstraction faite des qualités diélectriques des éléments composants.

La pratique a effectivement condamné les câbles à remplissage dit mou, car s'ils peuvent être mieux remplis de matière imprégnante, il leur manque ce à quoi est due précisément la rigidité diélectrique, c'est-à-dire le papier imprégné.

4. Conclusion. — La formule qui donne la tension disruptive est

$$E' = E_{moy} \times \alpha\beta\gamma r \log_e \frac{R}{r} = E_{moy}\, p'$$

qui serait la vraie tension disruptive si toute la matière de remplissage était constituée de papier totalement imprégné correspondant à une densité de l'ensemble d. Comme cette densité, déterminée par les mesures du poids et du volume, est d_1, je multiplie E' par $\frac{d_1}{d}$ qui est toujours plus petit que l'unité. La vraie valeur de la tension disruptive est alors

$$E = E_{moy}\,\alpha\beta\gamma\,\frac{d_1}{d}\,r\log_e\frac{R}{r} = E_{moy}\,p.$$

Tous les facteurs de correction sont accessibles à la mesure.

V. Détermination de la tension limite. — 1. Principe des méthodes envisagées. — Si l'on connaît le gradient de potentiel limite on aura aussi la tension limite

$$E_l = E_{moyl}\,p.$$

Il faut donc chercher à connaître E_{moyl}. Si nous supposons un câble bien rempli composé exclusivement de papiers imprégnés superposés, la propriété limite dont nous parlons doit se manifester pour chaque composant individuellement. Autrement dit, chaque papier imprégné a, en principe, une tension limite propre. Si nous les supposons tous équivalents cette tension limite a pour tous la même valeur. Par définition, c'est la tension à partir de laquelle le matériel auquel elle est appliquée perd la propriété de revenir à son état initial.

On remarquera l'analogie de cette définition avec celle de la limite d'élasticité d'un corps solide, analogie qui a guidé mes recherches dès le début. Mais l'allure des phénomènes est radicalement différente dans les deux cas. L'allongement au delà de la limite d'élasticité croît moins rapidement que la force appliquée pour tomber à zéro à la rupture de l'éprouvette, tandis que dans le cas qui nous occupe le courant dû à la tension appliquée croît, à partir de la tension limite, plus rapidement que la tension et prend rapidement des valeurs très grandes qui entraînent la disrupture. C'est ce que K.-W. Wagner (1) a étudié dans un article paru dans le « Journal of the American Institute of electrical Engineers ».

Ceci posé et quoi que l'on puisse penser de cette analogie, comment reconnaîtrons-nous cette limite?

Il y a deux moyens. Le premier, que j'ai employé dès le début de ces recherches, m'a été suggéré par le fait qu'à cette tension, il doit se produire un phénomène en rapport avec l'altération subie, un bruit, par exemple. On sait, en effet, que dans les essais de câbles à haute tension de mauvaise qualité, on entend à partir d'une certaine tension un crépitement qui peut être intense. On objectera qu'il résulte de l'ionisation des inclusions d'air dont la présence caractérise précisément les câbles défectueux. Mais il ne faut pas oublier qu'un papier mal imprégné est aussi rempli de bulles et que, même avec des intervalles de papier bien remplis, elles manifestent leur présence d'une façon analogue. J'ai donc cherché à déterminer sur des papiers bien imprégnés cette tension d'effluve et son rapport à la tension disruptive dite instantanée. J'entends par là qu'on l'atteint en 3 à 5 s environ en faisant croître la tension avec une vitesse constante. J'ai pu me convaincre au cours de milliers d'essais que cette vitesse et ce temps peuvent être maintenus pratiquement constants, même pour des opérateurs différents quelque peu entraînés. On peut trouver ainsi à des mois d'intervalle, pour un câble bien fait, des résultats relatifs à la tension disruptive tout à fait concordants, ce qui s'explique aussi par le fait que les chiffres obtenus sont toujours des moyennes de nombreuses mesures.

2. Description de la première méthode. — J'ai utilisé une caisse bien capitonnée et percée d'un trou. J'y ai placé l'appareil à décharge et écouté, à l'aide d'un entonnoir en carton dont le petit bout était engagé dans l'ouverture de la boîte, les premiers bruits d'effluve qui se produisaient. Pour être certain que ce n'était pas ceux de décharges à travers la mince couche d'air qui se trouve au contact des électrodes et du papier, je faisais l'essai dans différentes huiles. J'ai déduit de ces essais que les premiers bruits perceptibles se produisaient à une tension de 1/5 environ de la tension disruptive et pour des papiers de nature très diverse. Cette façon de procéder suppose que ce sont réellement les premiers crépitements qu'on entend, autrement dit que les effluves se produisent brusquement à partir d'une certaine tension, comme pour l'effet de couronne par exemple. Comme les résultats obtenus de cette façon m'avaient permis d'expliquer et de prévoir sans difficulté la façon dont se comportent des câbles très différents, je les ai retenus jusqu'au moment où j'ai été à même de déterminer par la seconde méthode la tension limite d'un câble constitué par des papiers de propriétés connues, c'est-à-dire de les vérifier directement sur le câble terminé.

3. Description de la deuxième méthode. — Si l'on dépasse la tension limite d'un câble, il doit subir des modifications diélectriques irréversibles. Cela résulte des définitions. On sait que si l'on mesure la tangente de l'angle de pertes diélectriques à des tensions croissantes et ensuite décroissantes, les valeurs de la tangente mesurées dans le second cas sont différentes de celles mesurées dans le premier. Si, au contraire, l'on abandonne le câble à lui-même pendant un certain temps, la tangente reprendra à la même température et à la même tension la même valeur que dans la première expérience. On dit alors que le câble s'est régénéré. Si, par contre, la tension dépasse une certaine valeur qui est la tension limite, le câble ne reprendra plus complètement ses propriétés initiales. La limite d'élasticité diélectrique a été dépassée. La forme d'équi-

(1) K.-W. Wagner. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, 1922, t. XLI,, p. 1034-1044.

libre des charges ayant changé, il n'y a pas de raison d'observer les mêmes phénomènes après qu'avant.

Nous appliquons donc au câble, dont nous venons de calculer la tension limite par la première méthode, une tension voisine de la tension limite, mais qui lui soit nettement inférieure, pendant un certain temps, une heure par exemple ; au bout de ce temps nous mesurons la tangente. On répète la mesure au bout de 2, 4... heures, jusqu'à 15 ou 20 heures. Nous constatons, qu'à la même température, la ligne des tangentes mesurées entre la plus basse et la plus haute tension, et à ces diverses époques, tend à se confondre avec celle des valeurs mesurées avant l'essai. Nous appliquons maintenant au câble, pendant le même temps que précédemment, une tension un peu plus élevée, de 5 kv, par exemple, et reprenons la série des mêmes essais. On finira par trouver de cette façon une tension après l'application de laquelle les valeurs de la tangente ne sont plus ce qu'elles étaient avant l'essai, même au bout d'un temps très long. C'est cette tension qui sera la tension limite. On arrive ainsi à la déterminer à 5 kv près environ, ce qui est déjà intéressant (fig. 1).

4. Description sommaire d'une troisième méthode. — Je ne fais que mentionner un troisième moyen, plus long et moins concluant, qui repose sur la détermination

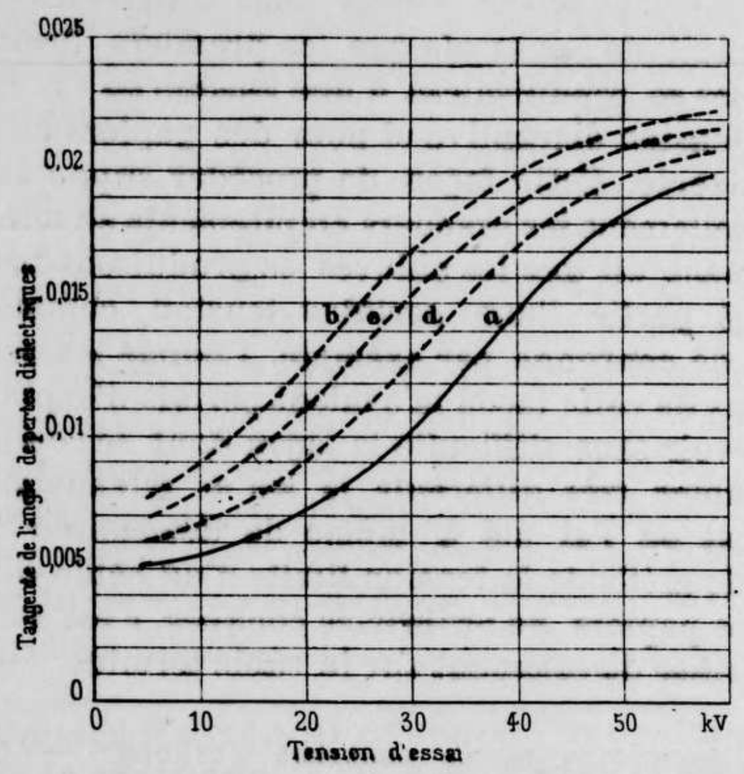


Fig. 1. — Courbes des variations de la tangente de l'angle des pertes diélectriques en fonction de la tension d'essai : a, courbe initiale à θ° ; b, c et d, courbes obtenues immédiatement après l'application de la tension de 110 kv pendant 1 heure (courbe b), pendant 3 heures (courbe c), pendant 6 heures (courbe d).

complète de la courbe du temps en fonction de la tension de perforation par 5 ou mieux 6 points qui par extrapolation, pour le temps infini, fournira la tension limite cherchée. Je reviendrai plus loin sur l'application de ce procédé à l'essai des séries de câbles de même type d'une fabrication courante.

VI. Défauts d'homogénéité de la matière de remplissage. — La méthode que je viens de décrire donne la tension limite au point le plus faible du diélectrique, qui est précisément la valeur intéressante, mais à une condition, c'est que l'influence du point faible soit assez importante pour modifier suffisamment la valeur nécessairement moyenne fournie par la mesure ; cette condition constitue une des objections les plus sérieuses que l'on puisse faire à la méthode que je propose. Il peut même arriver que si l'on opère sur une éprouvette de courte longueur, le point faible ne s'y trouve pas et que la mesure ne corresponde pas à la qualité réelle du câble caractérisé par ces points faibles. Il faut donc recourir à de nouveaux procédés d'investigation, dont le plus caractéristique me paraît être celui du contrôle continu par points, pour ainsi dire, en faisant passer tout le câble à travers un dispositif de mesure approprié dont il n'est pas difficile d'imaginer la forme. La difficulté sera de trouver celui ou ceux dont les causes d'erreur sont réduites au minimum. Je me bornerai pour l'instant à faire remarquer qu'il y a les hétérogénéités réparties suivant l'épaisseur de l'isolant. Ce sont celles de fabrication courante qui ne sont généralement pas exagérées. Dans ce cas, l'isolant est constitué de couches de qualités variables dont l'étendue parallèlement à l'axe est généralement considérable. Puis, au fur et à mesure que la fabrication devient plus soignée, ces zones se rétrécissent et finissent par former des îlots constituant les hétérogénéités locales, qui forment les défauts ou points faibles proprement dits. Nous sommes donc ramenés à deux cas principaux : celui du câble à défauts bien localisés, au sens que nous venons de préciser, ou câble homogène, et celui d'un câble à défauts répartis d'une façon plus ou moins régulière sur la longueur, ou câble non homogène, dans lequel nous avons des couches de qualité variable dans l'épaisseur de l'isolant. C'est le cas le plus intéressant dans l'application du procédé qui nous occupe ici.

La distribution des contraintes dans l'épaisseur du remplissage oblige, dans un cas comme dans l'autre, à accorder à ce qui caractérise les propriétés de la couche isolante, à la surface même du conducteur, une attention particulière. En effet, comme le rapport des contraintes sur cette surface et sous le plomb, dans un câble de 12 mm par exemple, est d'environ 2,7, il peut arriver que la rigidité diélectrique soit suffisante partout ailleurs que sur la corde ; inversement, par contre, la sécurité peut être satisfaisante partout sauf en un point déterminé de l'intérieur de la matière de remplissage, où la contrainte dépassera la rigidité diélectrique des constituants. Il importe donc d'examiner de près toutes les couches de papier qui constituent l'isolant. On peut se borner à faire des mesures sur quelques échantillons, pris parmi ceux qui paraissent les plus intéressants.

Ce procédé permet de vérifier à intervalles réguliers les papiers examinés, tant à leur place dans le câble qu'une fois déroulés. Il est important de savoir comment les papiers sont enroulés, serrés ou lâches, régulièrement ou à pas variable, croisés ou dans le même

sens ; s'ils sont plissés et dans quel sens, au milieu ou aux bords. D'une façon générale, tout examen d'un câble « dépiotté » après sa fabrication ou mieux encore, après un certain temps de service apporte des précisions sur ses propriétés.

VII. **Résultats d'essais.** — On forme la moyenne générale de toutes les valeurs de gradients de potentiel disruptif ainsi obtenues et la moyenne de celles relevées sur la surface du conducteur. Le rapport de ces deux valeurs donne déjà une idée satisfaisante de l'homogénéité au point de vue diélectrique de la matière de remplissage. Les valeurs minima des gradients de potentiel sont plus importantes encore, car elles situent les points dits faibles. C'est donc une de ces valeurs, si elle est vraiment caractéristique, surtout sur la surface du conducteur, qui servira de base au calcul de la tension limite. Quant aux « chiffonnages » étendus, si fréquents quand le câble a été fabriqué sur des tambours d'un diamètre inférieur à 30 fois le diamètre du câble, ils diminuent la rigidité de 20 à 30 pour 100. Il est alors facile de calculer la contrainte en cet endroit pour la comparer à la valeur de la rigidité qui lui est opposée.

Dans le tableau I sont résumés des résultats de mesures sur diverses catégories de papiers.

TABLEAU I. — *Valeurs des tensions disruptives obtenues par des mesures sur diverses catégories de papier*

NUMÉROS de la couche de papier compté à partir de la couche extérieure	ÉPAISSEUR du papier millimètres	TENSION disruptive volts	GRADIENT de potentiel disruptif kv : mm	
1	0,11	8 000	72,8	
10	0,12	7 200	60,0	
20	0,11	7 200	60,0	
30	0,10	6 000	60,0	
40	0,12	6 000	50,0	Plages sèches
50	0,12	7 200	60,0	
60	0,11	7 500	68,2	
70	0,11	7 800	70,9	
80	0,12	8 000	66,6	
90	0,11	7 200	65,4	
100	0,10	7 000	70,0	
1	0,11	7 200	65,4	
2	0,12	7 300	60,9	
3	0,11	7 800	70,9	
4	0,11	7 600	63,7	
5	0,11	6 000	54,5	Plages sèches
6	0,11	6 500	59,0	
7	0,12	6 700	55,9	
8	0,12	7 000	58,3	
9	0,12	7 500	62,5	
10	0,11	7 800	70,9	
11	0,12	7 800	65,0	
12	0,12	7 700	64,2	

Les mesures dans les résultats précédents ont été faites sur un câble dont les caractéristiques sont les suivantes :

Diamètre sur le plomb, 45,5 mm ; épaisseur moyenne du plomb, 2,35 mm ; diamètre sur la matière de remplissage, 40,0 mm ; diamètre sur le conducteur, 15,2 mm ; poids de 10 cm de la matière de remplissage, 136,17 g ; volume entre cuivre et plomb, 112,54 cm^3 ; densité de la matière de remplissage, 1,21.

La tension disruptive moyenne des dix derniers papiers est de 64,49 kv : mm ; cette valeur étant corrigée pour la ramener au cas du remplissage à l'abri de l'air, entre électrodes concentriques et corde avec génératrices saillantes, elle devient

$$64{,}49 \times 1{,}26 = 81{,}3 \text{ kv : mm.}$$

Ici donc on a

$$R = 20{,}4 \text{ mm}, \qquad r = 7{,}6 \text{ mm}$$

et pour le facteur du câble,

$$r \log_e \frac{R}{r} = 7{,}49.$$

La tension disruptive totale dite instantanée est donc

$$7{,}49 \times 81{,}3 = 609 \text{ kv}$$

et la tension limite brute,

$$609 : 5 = 122 \text{ kv environ.}$$

VIII. **Utilisation des résultats de l'essai.** — Nous sommes donc en possession des données à l'aide desquelles nous pourrons déterminer la tension maximum applicable à un câble à l'essai sans le détériorer et le coefficient vrai de sécurité en exploitation.

Nous venons de voir sa détermination exacte. Mais dans bien des cas une valeur approchée suffira. On pourra admettre un gradient de potentiel disruptif moyen des papiers imprégnés de 70 kv : mm. La tension disruptive instantanée du câble est alors $70\, r \times \log_e \frac{R}{r}$, en kilovolts et la tension limite, 1/5 environ de cette valeur. Toute tension d'essai dépassant cette valeur devra être écartée comme dangereuse, qu'elle soit appliquée pendant peu de temps ou pendant des heures ; cela d'autant plus que la valeur qui vient d'être calculée représente le plus souvent un maximum que le câble ne supportera pas.

Connaissant cette limite, nous pourrons savoir aussi quel est le coefficient vrai s de sécurité pour la tension d'exploitation E_e. Cette tension d'exploitation est basée sur un gradient de potentiel admissible de 4 kv : mm, et même 5 ou 6 kv : mm pour les câbles de types spéciaux H et autres. Prenons 4,5 comme valeur moyenne. On a évidemment

$$4{,}5\, sr \log_e \frac{R}{r} = 14\, r \log_e \frac{R}{r}$$

d'où

$$s = 3{,}11.$$

Imposer une épreuve aux câbles à 4 ou 5 fois la tension d'exploitation, c'est méconnaître les possibilités de la fabrication courante ou les relations dont nous venons de faire usage, à moins d'admettre un gradient de potentiel maximum peu économique, de 3 kv : mm, par exemple, ce qui donnerait pour s la valeur 4,7. Il y a d'ailleurs une autre raison de prendre un gradient de potentiel élevé, c'est l'échauffement du câble par courant normal. On sait qu'un câble dont la température est élevée, surtout s'il n'est pas parfait, résiste mieux à l'effet de la tension qu'à l'état froid. Ce phénomène paraît à première vue bizarre, mais s'explique aisément par le fait que, sous l'action de la chaleur, la matière de remplissage se dilate plus que l'enveloppe de plomb ; il en résulte une compression qui rend le câble plus homogène et plus résistant au point de vue électrique en diminuant les vides en les comprimant et cet effet sera naturellement d'autant plus apparent que le câble a plus de vides. Ces deux effets s'observent très nettement dans les environs de 40°C.

Nous avons maintenant à trouver le temps de disrupture sous une tension donnée et la tension de disrupture dans un temps donné.

IX. **Equation de la caractéristique de la tension disruptive en fonction du temps.** — L'un des points de cette courbe voisin de l'axe des tensions, pour une valeur très petite du temps, est connu par l'analyse du câble, de même qu'un autre point correspondant au temps défini et à la tension limite. Si nous rapportons cette ligne à l'axe des tensions et à l'asymptote parallèle à l'axe des temps passant par la tension limite, on pourra la représenter par une équation de la forme

$$(E - E_1)^n \, t = \text{constante}$$

où E est la tension appliquée et t, le temps. Nous choisirons comme unités le kilovolt et l'heure. On a beaucoup discuté la valeur de l'exposant n. Il y a sans doute certaines difficultés à déterminer expérimentalement cette ligne avec exactitude. Mais on peut en déterminer un point assez sûrement, si l'on choisit pour cela une tension qui ne soit pas trop élevée, située dans les environs du coude de la ligne. On s'explique mal cependant l'hésitation entre les valeurs 2 et 7 ou 8 proposées pour n par certains expérimentateurs aux Etats-Unis, à moins d'avoir affaire à des câbles triphasés que nous avons exclus de notre étude.

Dans le cas des câbles à un conducteur, on ne se trompe pas de beaucoup en prenant pour n la valeur moyenne 2. D'ailleurs, bien que nous soyons ici dans le domaine des grands nombres et des moyennes, il n'est pas inutile de rappeler que nos approximations ne visent pas à plus de 20 pour 100 près environ. Je ne pense pas que la nature du problème permette d'espérer mieux pour le moment. Je me suis toujours servi avec succès de l'exposant 2 pour mes recherches. L'équation de la ligne peut s'écrire

$$V^2 t = C, \quad \text{où} \quad V = E - E_1$$

est l'excès de la tension appliquée sur la tension limite. Par des essais à une tension choisie comme il vient d'être dit, on détermine C. On n'a quelquefois pas le temps ou la possibilité de faire cet essai. Dans ce cas, on aura toujours à sa disposition la caractéristique de la tension en fonction du temps d'un câble dont les propriétés électriques sont connues. Connaissant par l'analyse E_1 et E_{inst} du câble à étudier, on trace, par analogie avec la caractéristique du câble connu, celle du câble étudié. La constante C se déduira de cette construction avec suffisamment d'exactitude. Mais on voit que seule l'analyse du câble permet d'utiliser ce procédé.

On est ainsi en état de répondre par des chiffres aux nombreuses questions que soulève la pratique du câble, et à l'avance, c'est-à-dire avant la construction du câble, si l'on est suffisamment sûr de la qualité moyenne de la fabrication courante. Dans tous les cas, ces renseignements suffisent amplement pour juger acceptables ou non certaines conditions d'essai nouvelles imposées par des cahiers des charges. Mais là n'est pas la difficulté.

Il importe d'insister ici sur une remarque que l'on n'a pas bien mise en évidence. La tension limite étant, par définition, celle pour laquelle les modifications du câble sont encore juste réversibles, tous les essais faits à une tension qui lui est supérieure n'exercent leurs effets qu'à partir de cette valeur. Cette simple observation permet d'abréger les essais de perforation dans lesquels on élève progressivement la tension par échelons fixés d'avance, 10 ou 20 kv toutes les minutes par exemple. Si la tension limite est de 120 kv, par exemple, l'essai réel n'a d'intérêt qu'à partir de 120 kv.

X. **Prédétermination de la tension disruptive dans les essais par échelons de tension.** — Il s'agit maintenant de prédéterminer la dernière tension appliquée et le temps de perforation, la tension de départ étant égale ou supérieure à la tension limite. Si l'on admet que la relation entre les n échelons de tension v, le temps fixe Δt qui les sépare et la constante C de câble est donnée par la relation

$$(\Sigma v)^2 \Delta t = C,$$

on trouve dans le premier cas que

$$n = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{8}{v}\sqrt{\frac{C}{\Delta t}}} - 1\right].$$

La dernière tension atteinte est alors

$$V_n = nv \quad \text{ou} \quad V_n = \frac{v}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{8}{v}\sqrt{\frac{C}{\Delta t}}} - 1\right].$$

En y ajoutant la tension limite E_1, on obtient la tension disruptive cherchée

$$E_n = V_n + E_1$$

et le temps de perforation correspondant

$$t = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{8}{v}\sqrt{\frac{C}{\Delta t}}} - 1\right]\Delta t.$$

Ce résultat est valable dans un milieu à la température ambiante. Si, par exemple, $C = 5\,400$ kv²-h et qu'on augmente toutes les minutes ($\Delta t = 0{,}0166$ h) la tension appliquée de $v = 15$ kv, en partant de la tension limite $E_1 = 80$ kv, on obtient

$$E_n = \frac{15}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{8}{15}\sqrt{\frac{5\,400}{0{,}0166}}} - 1\right] + 80$$

$$= 123{,}5 + 80 = 203{,}5 \text{ kv}$$

qui est la tension de perforation. Le câble sera percé au bout du temps

$$t = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1 + \frac{8}{15}\sqrt{\frac{5\,400}{0{,}0166}}} - 1\right] \times 1 = 8{,}2 \text{ minutes}$$

ou

$$\frac{V_n}{v} = \frac{123{,}5}{15} = 8{,}2$$

échelons de 1 mn chacun.

Si l'on part d'une tension d'essai supérieure de $a \times v$, en kilovolts, à la tension limite (deuxième cas), la tension de perforation est donnée par

$$E_n = [n + (a - 1)]\, v + E_1, \text{ en kilovolts,}$$

où n doit satisfaire à l'expression

$$n = \frac{1}{2}\left[\sqrt{(2a-1)^2 + \frac{8}{v}\sqrt{\frac{C}{\Delta t}}} - (2a - 1)\right].$$

Nous allons l'appliquer au calcul complet d'un exemple. Le câble F a un conducteur de 16 mm de diamètre et un isolant d'épaisseur égale à 8 mm. La constante ordinaire est donc 5,54. Les papiers sur la couche voisine du conducteur tiennent une tension de 69 kv : mm, corrections comprises. La tension limite est

$$69 \times \frac{5{,}54}{5} = 76{,}5 \text{ kv.}$$

Ce type de câble ne nous étant pas connu au point de vue disrupture-temps, nous allons en rapporter les caractéristiques à un câble G dont la constante $C = 9\,550$ est connue. Sa constante ordinaire est 7,35. Nous aurons pour la tension limite réduite

$$E_{1\text{réd}} = 76{,}5 \times \frac{7{,}35}{5{,}54} = 101{,}5 \text{ kv.}$$

Notre essai sur F se fait par échelons de 5 kv, soit de 6,64 kv sur G. L'essai commence à 80 kv, soit 106,2 kv sur G. On a donc

$$a = \frac{106{,}2 - 101{,}5}{6{,}63} = 0{,}658.$$

La durée de l'essai sur chaque échelon est de 30 secondes ($\Delta t = 0{,}0083$ heure). On trouve avec ces données

$$n = 17{,}8.$$

La dernière tension atteinte V_n est alors

$V_n = [(a + n - 1)]\, v = 116{,}5$ kv, soit 87,6 kv pour F.

La tension disruptive est

$E_n = V_n + E_{1\text{réd}} = 116{,}3 + 101{,}6 = 217{,}8$ kv soit 164,1 kv

pour le câble F.

La durée de l'essai sur le câble F est, en minutes, $n \times 0{,}5 = 8{,}9$, ou aussi

$$\left(1 + \frac{V_n - av}{5}\right) \times 0{,}5 = (1 + 16{,}8) \times 0{,}5 = 8{,}9 \text{ mn.}$$

Remarques. — On peut objecter à cette méthode de ne pas tenir compte des conditions thermiques différentes dans lesquelles travaillent les câbles, vu la diversité de leurs types. C'est bien à quoi l'on pense tout de suite. Mais l'expérience a prouvé que dans les essais de courte durée comme ceux par échelons de tension, et à l'approximation que l'on est en droit d'attendre de la méthode, ces circonstances ne jouent pas un rôle bien important, étant donné précisément la brièveté de ces essais. Dans ces conditions, on s'explique que la méthode ne soit pas applicable aux essais à tension constante, dont la durée est généralement choisie assez longue. Dans les applications à des câbles de types très divers, les résultats obtenus par cette méthode ont toujours été satisfaisants. Comme elle permet de calculer avant l'essai la durée de celui-ci, on peut préparer assez exactement le programme de séries d'essais. On sait que dans la pratique courante, ces questions ont une grande importance.

Si la fréquence d'essai était différente de celle à laquelle correspond la caractéristique de la tension, en fonction du temps, du câble connu servant de base, une réduction correspondante du temps de perforation deviendrait nécessaire ; des essais faciles à faire donnent les chiffres nécessaires avec une précision amplement suffisante.

XI. **Cas particulier.** — J'ai appliqué l'analyse que je viens d'exposer pour les essais à tension constante, à la prédétermination des qualités disruptives de deux câbles de construction semblable, et tous deux défectueux, dont l'exemple est typique. Il peut, en effet, paraître étrange que pour un câble devant, au témoignage de celui qui les fabrique et les essaie depuis long-

temps, tenir une certaine tension pendant des centaines d'heures, on trouve par cette analyse un temps de disrupture de quelques dizaines d'heures au plus, que l'essai ne démentira pas; c'est-à-dire que ce câble aurait peut être passé pour bon, à moins d'être démasqué à temps par un autre essai plus probant. Mais lequel ? La méthode des pertes diélectriques a, dans ce cas, fourni des renseignements quelconques, ne correspondant nullement à la qualité réelle. Ce qu'il faut retenir de cet exemple, c'est que le seul chiffre intéressant et nécessaire n'a pas été fourni par l'unique méthode de mesure actuellement applicable, mais par la méthode que j'ai exposée. L'essai de pertes en fonction de la température, en faisant varier la tension appliquée jusqu'au voisinage de la tension limite, n'a non plus rien révélé de caractéristique, comme on pouvait s'y attendre tout naturellement d'après le résultat de l'analyse. L'écartement des courbes représentant la tangente de l'angle des pertes en fonction de la température (fig. 2) va en augmentant avec la tension ou est irrégulier quand le câble est défectueux. J'ai trouvé ce critère en construisant celui de Höchstädter (1), beaucoup plus compliqué, comme celui dit des Hollandais (2). Celui de Höchstädter demande même une mesure de pertes à deux périodes différentes, en fonction de la température, et à différentes tensions. Il n'est pas difficile de faire deux mesures différentes à différentes périodes, mais il est difficile de garantir des valeurs mesurées à 25 p:s, par exemple, après avoir électrisé le câble pour la tension à 50 p:s; même au cas où la recherche par l'analyse eût abouti à des résultats erronés de 20 ou 30 heures pour la plus basse tension d'essai, ici 100 kv, elle eût encore conservé un avantage considérable sur n'importe quelle méthode actuellement connue.

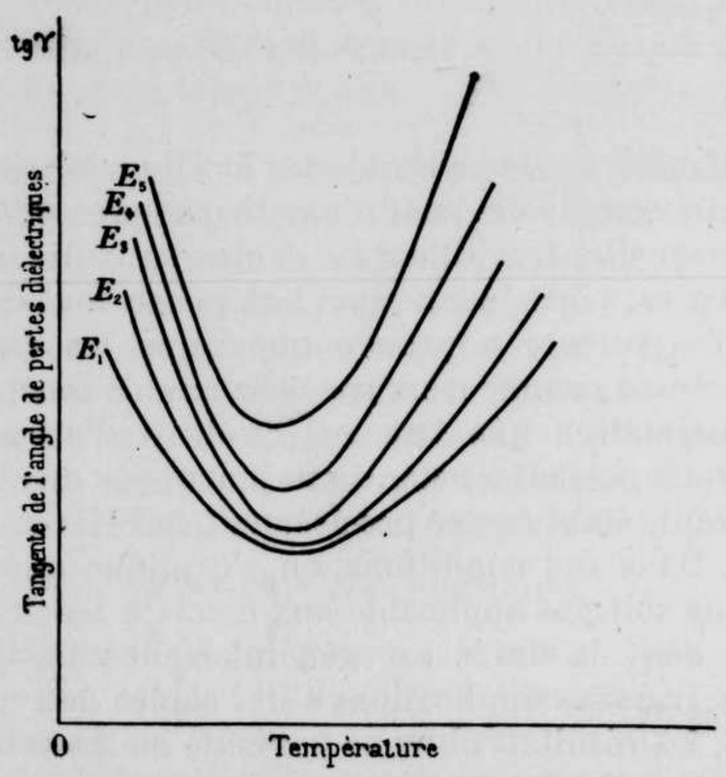


Fig. 2. — Courbes de variations, en fonction de la température, de la tangente de l'angle des pertes diélectriques montrant que le câble est défectueux.

On n'a pas, jusqu'ici, accordé une attention suffisante à l'angle que fait le courant résiduel de charge avec le courant de charge du câble (condensateur à diélectrique imparfait), ni à la valeur de ce courant. Ces deux éléments, angle et courant, sont, en l'absence de courant de conduction proprement dit, les facteurs déterminants de l'angle de pertes, par suite, des pertes d'origine purement diélectriques. Dans le cas envisagé ici, les pertes peuvent être nulles: 1° l'angle du courant résiduel avec le courant de charge est nul; 2° si le courant résiduel lui-même est nul, les anomalies qu'on observe dans la tension de l'isolement par la méthode de la perte de charge, en courant continu, ont déjà mis en évidence l'importance de la charge résiduelle pour juger des qualités des câbles à haute tension. Toutes les grandeurs nécessaires au calcul de l'angle « résiduel » et du courant « résiduel » sont accessibles à la mesure pendant qu'on détermine des pertes diélectriques.

XII. **Degré d'approximation de la méthode proposée.** — J'ai introduit précédemment la densité de la matière de remplissage comme facteur de correction ; pour me faire une idée du rapport qui peut exister entre la densité du remplissage et son manque de matière, j'ai fait la mesure et le calcul suivant : soit 10 cm de remplissage pesant 126 g ; ce remplissage contient, suivant les résultats d'une mesure séparée, 58 g de matière pour 100 g de papier sec. La densité a été trouvée égale à 1,21. Pour 5 m de remplissage on aura donc 2 315 g de matière. Nous supposons, sur ces 5 m, des défauts de matière successifs de 5, 10, 20, 40, 100 et 200 g. Voici ce que deviennent les centièmes de matière d'imprégnation et la densité.

Défauts sur 5 m		Matière d'imprégnation centièmes	Densité de remplissage
g	centièmes		
—	—	—	—
0	0	58,0	1,21
5	0,22	57,9	1,21
10	0,43	57,8	1,21
20	0,86	57,5	1,21
40	1,73	57,1	1,21
100	4,32	55,6	1,200
200	8,64	53,1	1,18

La mesure des centièmes de matière d'imprégnation peut se faire avec une approximation de 0,1 pour 100. On peut évaluer comme suit l'approximation de la mesure de la densité par poids et volume. On sait que, l'erreur sur les poids étant p' et celle sur les volumes v', la densité est

$$\delta \pm \frac{p'v \pm pv'}{v^2}.$$

(1) M. Höchstädter; Dielektrische Verluste und zulässige elektrische Maximalbeanspruchung in Hochspannungskabel. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 16 février 1922, t. XLIII, p. 205-208; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 2 septembre 1922, t. XII, p. 323-325.

(2) F.-A.-Smit Kleine, C.-F. Proos et J.-C. van Staveren; Nouvelle méthode d'épreuve des câbles à haute tension. *Compte rendu des Travaux de la deuxième Session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à très haute Tension*, (Paris, 1923), p. 539-582; analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 22 décembre 1923, t. XIV, p. 996-999.

Ici $p = 126$ g; l'erreur p' peut être évaluée à $\pm$ 5 mg. L'erreur v' provient de l'erreur de lecture sur le ruban à mesurer les diamètres d'après la longueur du périmètre (admettons $\pm$ 0,1 mm) et de celle de la longueur soit $\pm$ 0,2 mm. En négligeant des termes sans importance, on trouve que l'erreur v' est

$$v' = \pm \pi (R \mp r) [2 L \Delta r + (R \pm r) \Delta l],$$

R et r étant les rayons extérieur et intérieur du remplissage, L, sa longueur, Δr et Δl, les erreurs sur les rayons et sur la longueur. Tous calculs faits on trouve pour v' la valeur + 1,01 ou — 0,58 (le volume total étant 103 cm³ environ); alors l'erreur sur δ est comprise entre + 0,012 et — 0,006 au moins. On pourra donc conclure à des défauts certains de matière d'imprégnation, dans le cas qui nous occupe, à partir d'une valeur de

$$\delta < 1{,}22 - 0{,}12 = 1{,}21,$$

c'est-à-dire dès que le défaut de matière d'imprégnation est de 10 g : m de câble, ou 2,16 pour 100 (1 m de ce câble contient 46,5 g de matière).

XIII. **Conclusion.** — La méthode de prédétermination et d'étude des qualités disruptives des câbles à haute tension à un seul conducteur que nous venons d'exposer a pour but de permettre de caractériser ces qualités par un chiffre facilement mesurable; connaissant ce chiffre on peut tirer parti des propriétés de la ligne caractéristique du câble représentant la tension disruptive en fonction du temps. Nous avons spécialement étudié différents modes d'essai des câbles et donné des expressions simples pour le temps de perforation dans des cas déterminés. Pour terminer, nous avons étudié le degré d'approximation possible dans la mesure de la densité de la matière de remplissage, pour fixer la relation entre cette densité et la quantité de matière d'imprégnation.

Walter Schmid,
Physicien conseil.

Revues, analyses et informations

Echelles thermoélectriques des températures (1).

1. Introduction. — L'échelle internationale des températures, adoptée en 1927 (2), définit les températures, dans le domaine de 660°C à 1063°C, de la façon suivante :

La température est déduite de la force électromotrice E d'un thermocouple étalon platine, et platine rhodié, dont l'une des soudures est maintenue à 0°C, et l'autre à la température t définie par l'équation

$$E = a + bt + ct^2.$$

Les constantes a, b et c sont déterminées par un étalonnage du thermocouple aux points de solidification de l'antimoine, de l'argent et de l'or.

L'échelle internationale des températures ainsi définie est naturellement destinée à reproduire le plus exactement possible l'échelle thermodynamique centésimale des températures, dans laquelle les températures d'équilibre de l'eau avec la glace et avec la vapeur d'eau, sous la pression atmosphérique normale, correspondent respectivement à 0°C et 100°C. Cette échelle serait exactement réalisée avec un thermomètre à gaz, dans lequel se trouverait un gaz parfait; elle peut être obtenue avec une bonne approximation au moyen des gaz réels les plus difficiles à liquéfier. Connaissant les écarts entre certaines propriétés de ces gaz et celles du gaz parfait, il est possible d'en déduire la grandeur des écarts entre les échelles de température définies par leur emploi et l'échelle thermodynamique.

Le thermomètre à gaz n'est évidemment pas un instrument commode pour les usages courants et, en dehors des conditions les plus favorables, il ne fournit pas des résultats bien précis. Les résultats du thermomètre à gaz employé dans des conditions rigoureuses (thermomètre normal) sont fixés une fois pour toutes par la détermination précise de divers points fixes thermométriques tels que les températures de fusion ou d'ébullition de divers corps purs. On a pu obtenir ainsi, au moyen du thermomètre normal, des repères thermométriques s'échelonnant jusqu'à la température de fusion du palladium.

Ces points fixes thermométriques peuvent réciproquement être employés pour définir des échelles pratiques de température grâce à des instruments appropriés d'interpolation, tels que les thermocouples et les thermomètres à résistance. A l'exception des basses températures, la précision que l'on peut atteindre avec de semblables thermomètres, ainsi calibrés au moyen de points fixes de l'échelle thermodynamique, est considérablement supérieure à celle que pourrait fournir un thermomètre à gaz d'usage courant.

L'instrument d'interpolation presque exclusivement employé par les divers organismes de métrologie, ou par des auteurs travaillant isolément, fut le couple platine-platine rhodié; mais les diverses échelles en usage ne coïncidaient pas exactement ou bien n'étaient pas définies avec une rigueur suffisante. Un accord général était devenu nécessaire, et il fut réalisé sous la forme indiquée plus haut, qui fut adoptée à l'unanimité par les délégués de 31 nations à la septième Conférence générale des Poids et Mesures (octobre, 1927).

A la suite de cet accord, le Bureau of Standards a dû abandonner certains repères thermométriques dont il faisait antérieurement usage, pour leur en substituer d'autres. Le but du présent travail est de déterminer la grandeur des modifications apportées, de ce fait, à l'échelle des températures et de rendre possibles les comparaisons nécessaires entre les diverses échelles employées successivement par le Bureau of Standards.

(1) W.-F. Roeser. *Bureau of Standards Journal of Research*, septembre 1929, t. III, p. 343-358, 4 500 mots, 2 figures.

(2) L'échelle internationale des températures. *Revue générale de l'Electricité*, 24 novembre 1928, t. XXIV, p. 779-783.

Cet objet particulier ne présente pour nous qu'un intérêt secondaire, mais il a nécessité la mise en œuvre de méthodes de mesures d'une application très générale, qui en justifie l'exposé.

2. Appareils et méthodes. — Les thermocouples employés dans ces recherches étaient empruntés au stock de thermocouples préparés par le Bureau of Standards. Le platine et l'alliage platine-rhodium utilisés à leur construction étaient spectroscopiquement purs. La composition de l'alliage ne différait de la valeur 0,1 pour le titre en rhodium que de quantités inférieures aux erreurs d'analyse. Les deux couples choisis avaient été recuits électriquement pendant 6 heures à 1500°C, avant usage. Ces deux thermocouples sont désignés dans ce qui suit par E_2 et E_3.

Les repères thermométriques utilisés pour l'étalonnage sont les suivants :

1. Point de solidification du zinc	419,47°C
2. Point de solidification de l'antimoine	630,52
3. Point de solidification de l'aluminium	659,23
4. Point de solidification de l'argent	960,50
5. Point de solidification de l'or	1 063,00
6. Point de solidification du cuivre dans une atmosphère réductrice	1 083,00

Ces températures correspondent à la pression atmosphérique normale. Les points de fusion du zinc, de l'antimoine et de l'aluminium ont été déterminés au moyen du thermomètre à résistance de platine, qui sert à définir l'échelle internationale des températures jusqu'à 660°C. Les valeurs assignées aux points de fusion de l'argent et de l'or, repères fondamentaux, et au point de fusion du cuivre, repère secondaire, sont celles adoptées par accord international dans l'échelle internationale des températures.

Les divers corps considérés ci-dessus ont été utilisés après purification très rigoureuse, le titre des impuretés variant entre 0,001 et 0,0001. Ils étaient disposés dans des creusets de graphite d'Acheson, de 15 cm de profondeur sur 3 cm de diamètre intérieur, les parois ayant une épaisseur de 9 mm. Ils étaient tous (à l'exception de l'or) recouverts de graphite pulvérisé, afin d'empêcher l'oxydation.

Pour chaque métal, on faisait usage d'un four électrique différent. Les fours sont construits sur un modèle uniforme. Le creuset de graphite contenant le métal et le tube pyrométrique protecteur est supporté par des cylindres de silocel. Le tube de chauffe, en aluminium, est entouré de fil « chromel A », formant une seule couche recouverte d'un ciment d'alundum. Deux diaphragmes de graphite d'Acheson sont placés au-dessus du creuset afin de réduire au minimum la diffusion de l'air, cause d'oxydation, et de favoriser l'égalisation des températures dans le métal. L'enveloppe du four est faite d'une feuille d'acier laminé, enroulée en forme de cylindre. L'espace compris entre le tube de chauffe et l'enveloppe est rempli de silocel pulvérisé. La soudure chaude d'un thermocouple chromel-alumel est immergée dans l'enduit du tube de chauffe. Le thermocouple permet de suivre aisément la température des fours et de la régler commodément.

Les fils du thermocouple à calibrer étaient passés à travers les deux canaux de 1 mm de diamètre pratiqués dans un tube de porcelaine isolante de 4 mm de diamètre, placé dans un tube de porcelaine de 50 cm de longueur, recouverte d'un vernis. Les tubes protecteur et isolant étaient chauffés avant usage dans un four, à une température supérieure à celles auxquelles les mesures devaient être faites, afin que toute matière étrangère capable de contaminer les thermocouples soit brûlée. Pour chaque point fixe, on se servait d'un tube protecteur différent.

Pour déterminer la force électromotrice d'un thermocouple au point de solidification d'un métal, on faisait passer le tube du thermocouple à travers le couvercle du four; les diaphragmes et le couvercle du creuset pouvait ainsi reposer sur le métal. On faisait alors fondre celui-ci et on le maintenait pendant vingt minutes à environ 10°C au-dessus du point de solidification, afin de lui permettre de prendre une température uniforme. On réduisait alors le courant de chauffage du four, qui, dès lors, se refroidissait lentement et le métal était agité jusqu'au début de sa solidification. Les forces électromotrices étaient mesurées au moyen d'un potentiomètre de Wolff Dieselhorst, exact au 1/20000. Les soudures froides étaient maintenues à 0°C.

Les forces électromotrices dues à des effets thermiques parasites étaient réduites au minimum dans le circuit extérieur par l'emploi de conducteurs entièrement en cuivre, y compris les interrupteurs et le galvanomètre. Les erreurs dues aux courants de fuites et aux forces électromotrices résiduelles dans le potentiomètre, la résistance de réglage et le galvanomètre étaient éliminées en faisant des lectures alternatives, avec renversement du sens du courant et de la force électromotrice du thermocouple.

Des essais préliminaires avaient été effectués pour déterminer la position du creuset dans le four donnant le gradient de température minimum dans la masse du métal en expérience au commencement de la solidification. La profondeur d'immersion du thermocouple dans le métal fondu était telle que le thermocouple pouvait être élevé ou abaissé d'au moins un centimètre de sa position normale sans que la modification de la force électromotrice indiquée atteigne 1 microvolt. Le point de solidification était pris sur la portion de la courbe de force électromotrice en fonction du temps le long de laquelle la force électromotrice restait constante à moins de 0,3 microvolt près.

3. Résultats. — Les observations faites dans ces conditions montrent que les températures de fusion de l'or et du cuivre peuvent être reproduites avec des écarts certainement inférieurs à 0,1°C.

Les constantes qui correspondent à l'échelle internationale des températures sont les suivantes :

$$\text{Thermocouple } E_2 \begin{cases} a = -238{,}23 \\ b = 8{,}03094 \\ c = 0{,}00180141 \end{cases}$$

$$\text{Thermocouple } E_3 \begin{cases} a = -236{,}86 \\ b = 8{,}02670 \\ c = 0{,}00178808 \end{cases}$$

Les différences entre deux échelles de température quelconques, déterminées par le thermocouple E_2, concordent avec les différences correspondantes fournies par E_3, à moins de 0,02°C; ce qui montre qu'avec de bons thermocouples, l'échelle centésimale est définie avec une précision voisine de la précision limite des mesures de force électromotrice. — L. B.

SECTION INDUSTRIELLE

L'aspect financier de l'application de la récupération d'énergie à la traction des chemins de fer métropolitains.

Dans un article publié récemment dans ces colonnes (*), M. della Riccia établissait une comparaison entre les divers systèmes de réglage de la vitesse des moteurs à courant continu et de la récupération de l'énergie dont l'emploi peut être envisagé notamment dans la traction électrique. Cette étude était faite uniquement à un point de vue technique. Dans l'article qui suit, l'auteur se place sur le domaine économique et rapporte des résultats pratiques relatifs à la traction dite ordinaire, c'est-à-dire avec réglage par rhéostats, et à celle à récupération. En se servant de diagrammes déduits par interpolation graphique de données numériques (résultats de calculs confirmés, dans un certain domaine, par les résultats d'essais pratiques variés), il examine s'il convient vraiment de remplacer, en tout ou en partie, dans les chemins de fer électriques urbains souterrains ou aériens, la traction ordinaire par la traction à récupération d'énergie. En ce qui concerne le remplacement total, celui-ci paraît devoir être très avantageux, ainsi que le font ressortir les comparaisons développées au cours de cet article ; ces comparaisons mettent en évidence les économies annuelles dans la dépense d'énergie, économies qui sont fort importantes, même si l'on tient compte du capital supplémentaire à immobiliser et de l'entretien supplémentaire. Le remplacement partiel conduit évidemment à un capital supplémentaire plus réduit et relativement encore mieux rémunéré ; mais les bénéfices annuels totaux sont moindres que dans le cas précédent. L'auteur trouve, en outre, que les frais totaux d'exploitation pour un trafic total donné, qui en traction ordinaire augmentent rapidement avec la vitesse commerciale des trains, n'augmentent presque pas avec la traction à récupération, de sorte que celle-ci est tout indiquée lorsqu'il s'agit d'augmenter cette vitesse, car, alors, à l'économie d'exploitation vient s'ajouter un accroissement des recettes.

I. **Généralités**. — Il n'y a pas d'ingénieur s'occupant de traction électrique urbaine qui ne se soit posé la question suivante : la traction d'une charge de 1 000 kg sur un parcours de 1 000 m ne devrait absorber, en tenant compte du rendement des moteurs, que tout au plus 11 à 14 w-h sur une voie de chemin de fer ou le double environ sur une voie de tramway. L'obligation où l'on se trouve de créer, au début de la marche, une énergie cinétique importante que l'on détruit par la suite, porte la consommation d'énergie au moins au quadruple dans le cas du chemin de fer et au double dans le cas du tramway. Il faut même fournir de l'énergie électrique au groupe compresseur d'air pour détruire la plus grosse partie de ce qu'a produit l'énergie électrique fournie aux moteurs de traction. Tout cela est-il bien rationnel et ne peut-on plutôt utiliser la force vive superflue à reproduire une partie de l'énergie électrique consommée en excès? C'est-à-dire que tout ingénieur s'occupant de traction électrique urbaine a souhaité de voir remplacer le mode de traction ordinaire, rhéostatique et dissipant de l'énergie, par un mode de traction à récupération ou à restitution d'énergie.

Déjà plusieurs systèmes de traction à récupération ont été préconisés, de valeurs inégales. Mais il y en a au moins un qui, dans des essais spéciaux d'abord et dans des essais en service courant ensuite, a donné des résultats entièrement satisfaisants et dépassant même, au point de vue de la proportion d'énergie économisée par rapport à celle consommée dans la traction ordinaire, les espoirs que l'on avait d'abord fondés sur lui : c'est le système utilisant comme groupe auxiliaire de réglage le subdiviseur symétrique de tension A.D.R., système qui en outre s'est manifesté exempt de tout inconvénient pratique. Il permet même, le cas échéant, l'emploi simultané du freinage électrique à récupération et du freinage ordinaire à l'air comprimé.

Mais la convenance pratique d'un système nouveau ne dépend pas exclusivement de ses qualités techniques ; elle dépend encore d'éléments d'ordre financier. Il faut donc posséder, en même temps, bon nombre de renseignements techniques et financiers pour décider dans quels cas et dans quelle mesure un système nouveau est intéressant pour une exploitation.

Après de nombreuses années de recherches, d'essais pratiques variés, d'enquêtes auprès de constructeurs divers, nous avons pu exposer en une longue étude détaillée (1) des résultats éclaircissant tout à fait la question au point de vue technique. Ladite étude a

(*) A. della Riccia ; Réglage de la vitesse et récupération d'énergie en courant continu. *Revue générale de l'Electricité*, 22 et 29 mars 1930, t. XXVII, p. 449-459 et 487-499.

(1) A. della Riccia ; Ce que peut donner la récupération de l'énergie dans la traction électrique des trains urbains et suburbains par le système A. D. R. *Bulletin Sofina*, 10 janvier 1930.

été conduite de manière à ne jamais favoriser la traction à récupération par rapport à la traction à dissipation d'énergie. Elle s'étend à un domaine qui a été partiellement exploré au cours d'essais de différentes natures, et dans cette partie du domaine les résultats des essais démontrent bien que les résultats de l'étude sont à considérer comme pessimistes en ce qui concerne la traction à récupération.

Dans l'étude présente nous utiliserons une partie des résultats techniques obtenus par l'étude précitée, ainsi que nous le préciserons dans la suite. Nous nous servirons, en outre, de renseignements d'ordre financier (prix des équipements ordinaires et prix des équipements à récupération) obtenus au cours de différentes enquêtes et nous nous en servirons encore de manière à ne pas favoriser le système de traction à récupération. Nous arriverons ainsi à des conclusions qui ne peuvent laisser aucun doute ni sur les circonstances dans lesquelles le nouveau système est à préférer au système ordinaire, ni sur l'importance des bénéfices que l'on peut retirer de l'emploi du système nouveau à la place du système ordinaire de traction.

II. **Renseignements techniques tirés d'une étude précédente.** — Désignons par L la longueur moyenne des sections entre arrêts successifs, par T la durée de parcours de la section moyenne, par a l'accélération au démarrage, par b le ralentissement au freinage, par V_2 et V_3 les vitesses au commencement et à la fin de la marche à la dérive, par w_0 et w_r la consommation d'énergie par unité de longueur du chemin parcouru et par unité de poids du matériel déplacé, par W_0 et W_r la puissance nécessaire à la traction par unité de poids, dans les deux cas de traction ordinaire et de traction à récupération ; soit $t = 15$ s la durée des arrêts.

L'étude mentionnée plus haut et où l'on a supposé un moteur pour chaque fraction de train pesant environ 17,5 t, a été étendue au domaine suivant :

$$\text{(a)} \begin{cases} a = 0{,}70 \text{ m:s:s}, & b = 0{,}80 \text{ m:s:s}, \\ a = 0{,}85 \text{ m:s:s}, & b = 1{,}00 \text{ m:s:s}, \\ a = 1{,}00 \text{ m:s:s}, & b = 1{,}20 \text{ m:s:s}; \end{cases}$$

$$\text{(b)} \begin{cases} V_2 = 9,\ 10,\ 11,\ 12,\ 13,\ 14 & \text{m:s}, \\ V_2 - V_3 = 0,\ 1,\ 2,\ 3, & \text{m:s}. \end{cases}$$

Aux limites de ce domaine on a atteint les valeurs extrêmes suivantes :

L = de 91 à 1 188 m,

T = de 18,5 à 112,4 s,

w_0 = de 39,9 à 208 watts-heures par tonne-kilomètre,

w_r = de 30,6 à 96,7 watts-heures par tonne-kilomètre,

W_0 = de 2,49 à 4,17 kilowatts par tonne,

W_r = de 3,09 à 6,06 kilowatts par tonne.

Ces résultats ont été représentés graphiquement de différentes manières. Entre autres, on a représenté dans le plan (T, w) les valeurs de w_0 et de w_r et dans le plan (T, W) les valeurs de W_0 et de W_r, pour différentes valeurs de L entre 200 et 1 100 m, dans le cas où $a = 0{,}85$ m:s:s et $b = 1{,}00$ m:s:s. Ces courbes L = constante ont donc été obtenues par interpolation graphique entre les $6 \times 4 = 24$ points déterminés numériquement. Elles ne sont donc pas rigoureuses, mais leur allure générale est tout à fait certaine. D'ailleurs, même l'interpolation graphique a été faite en favorisant la traction ordinaire et au détriment de celle

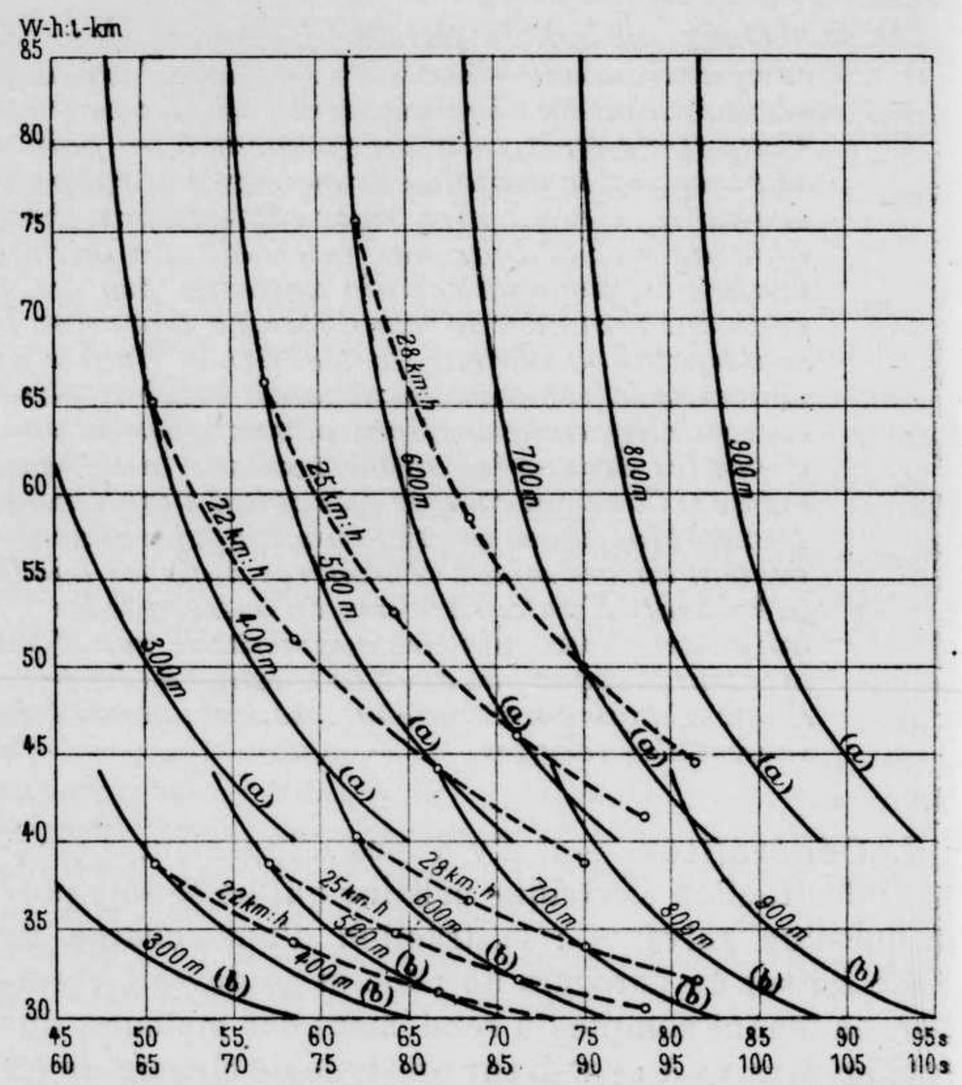


Fig. 1. — Courbes des variations de la consommation d'énergie en watts-heures par tonne-kilomètre en fonction de la durée moyenne des parcours pour diverses longueurs moyennes des sections (courbes en trait plein) ou pour diverses vitesses commerciales (courbes en trait interrompu) : a, traction ordinaire; b, traction à récupération.

à récupération. Les conclusions que nous en tirerons peuvent donc être acceptées avec confiance.

Sur les figures 1 et 2 sont tracées quelques-unes de ces courbes dans la région du domaine exploré qui peut être définie comme il suit: L compris entre 300 et 900 m, et T entre 45 et 90 s environ.

Ces figures ont, comme on le verra, une importance de tout premier ordre. Elles permettent de résoudre de nombreux problèmes pratiques, tant en traction ordinaire qu'en traction à récupération, et de faire toutes comparaisons utiles entre ces deux systèmes de traction.

III. **Augmentation de poids des équipements de traction.** — Avant d'aller plus loin, il faut faire une remarque. Le remplacement de la traction ordi-

naire par la traction à récupération entraîne d'abord le remplacement des résistances de démarrage par un groupe auxiliaire régulateur de la tension aux bornes des moteurs et ensuite le renforcement de ces moteurs. Mais il faut s'entendre sur ce point. Les nouveaux moteurs n'ont pas à développer un couple beaucoup plus puissant que les moteurs ordinaires, parce que le

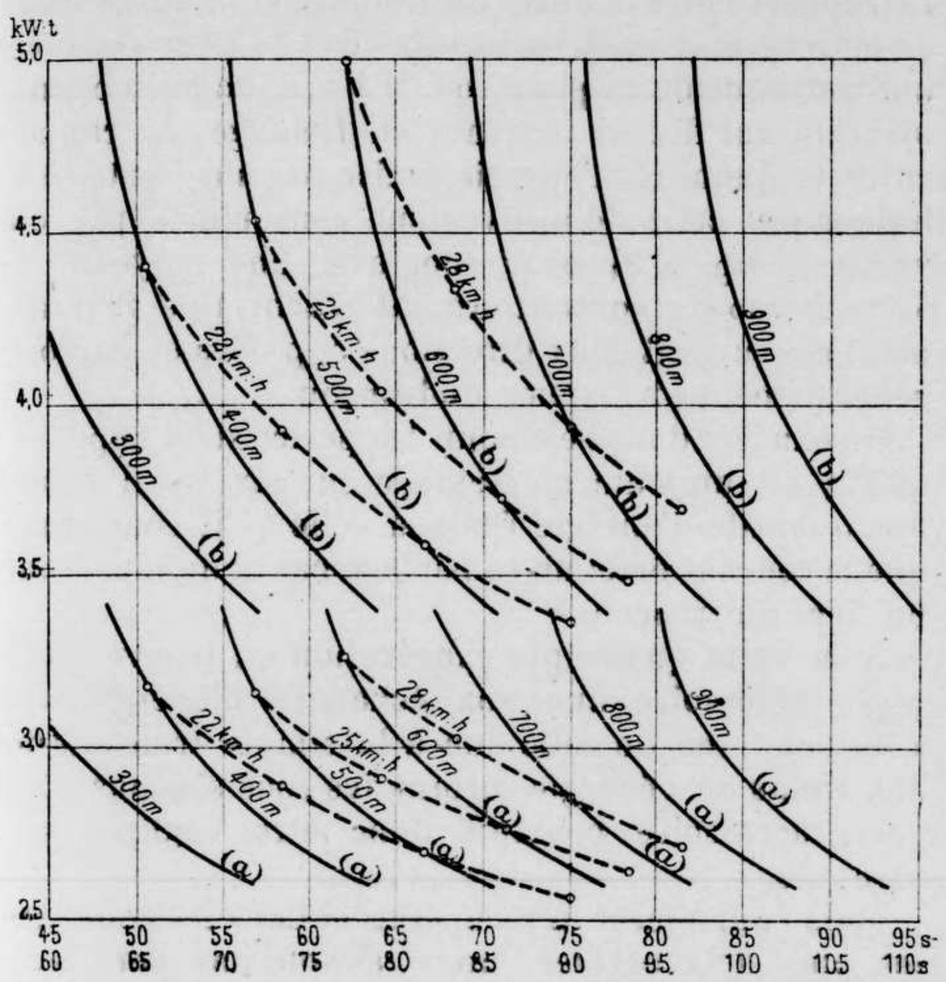


Fig. 2. — Courbes des variations de la puissance nécessaire en kilowatts par tonne en fonction de la durée moyenne du parcours pour diverses longueurs moyennes des sections (courbes en trait plein) ou pour diverses vitesses commerciales (trait interrompu): a, traction ordinaire; b, traction à récupération.

couple « résistant » nécessaire au freinage (aidé par les résistances passives) n'a pas à dépasser de beaucoup le couple « moteur » nécessaire au démarrage (contrarié par les résistances passives).

Mais les moteurs travaillant à deux reprises dans chaque cycle de marche, ou entre deux arrêts successifs, une fois pour le démarrage, la seconde fois pour le freinage, doivent supporter l'échauffement provenant d'une augmentation de la durée de passage du courant. La même chose se présente d'ailleurs dans le cas d'emploi du freinage électrique rhéostatique (dissipation).

On peut désigner sous le nom de « puissance fictive » des moteurs, nécessaire pour déplacer Q tonnes sur la section de L mètres parcourue en T secondes, le produit de la tension U de la ligne par la valeur moyenne quadratique (valeur efficace) J du courant total I absorbé pendant le démarrage et restitué pendant le freinage, cette moyenne étant calculée par rapport à la durée T du parcours augmentée de la durée t de l'arrêt consécutif. Le quotient de cette « puissance fictive » par le poids Q, exprimé en kilowatts par tonne, constitue ce que nous appelons la puissance « unitaire » nécessaire à la traction et que nous avons représentée par W.

En tenant compte du rapport existant entre le kilowatt et le cheval, du rendement pratique des moteurs de traction, du rapport entre la puissance continue et la puissance dite unihoraire de ces moteurs (supposés non ventilés), on passera du nombre de kilowatts par tonne au nombre de chevaux, en régime unihoraire, sur l'arbre, en multipliant W par 2,6.

Si l'on fait usage de moteurs ventilés, ce coefficient pratique, 2,6, doit être remplacé par un autre sensiblement plus petit (1,5). Mais nous supposerons avoir affaire exclusivement à des moteurs non ventilés, car c'est là encore une manière de placer amplement la traction à récupération dans des conditions plus défavorables.

La figure 1 donne donc f $(L, T, w) = 0$ tant pour le cas de la traction ordinaire que pour celui de la traction à récupération, en supposant celle-ci effectuée au moyen du subdiviseur de tension A.D.R., qui semble être l'appareil de réglage pratiquement préférable à tous autres pour l'application en vue, (ainsi qu'il a été démontré dans un article paru récemment dans la « Revue générale de l'Electricité » (1).

Dans le cas de la traction ordinaire, w_0 est le nombre de watts-heures qui sont consommés pour déplacer sur un kilomètre (dans les conditions définies par les valeurs assignées à L et à T) une tonne effective de 1 000 kg. Mais dans le cas de la traction à récupération w_r est le nombre de watts-heures qui sont consommés pour déplacer d'un kilomètre 1 040 à 1 070 kg, selon l'augmentation de poids que subit la partie du train correspondant à un équipement moteur par effet de l'addition du subdiviseur de tension et du renforcement des moteurs. Il s'agit donc alors d'une tonne « accrue ».

Dans le domaine complet de l'étude mentionnée plus haut, les économies absolues d'énergie $(w_0 - w_r)$ varient entre 8 et 111 w-h : t-km et les économies relatives, $\frac{w_0 - w_r}{w_0}$, entre 21 et 55 pour 100, w_0 se rapportant à la tonne effective et w_r, à la tonne convenablement accrue.

Dans le domaine de la figure 1 (plus réduit que le précédent, mais qui le dépasse néanmoins, par extrapolation, en certains endroits), les économies absolues d'énergie varient entre 10 et 45 w-h : t-km, et les économies relatives varient entre 25 et 50 pour 100 seulement.

La figure 2 donne pareillement F $(L, T, W) = 0$ tant pour le cas de la traction ordinaire que pour celui de la traction à récupération. Et il s'agit encore de tonne vraie dans le premier cas et de tonne « accrue » dans le second.

IV. **Passage des motrices aux sous-stations.** — Examinons encore la question de la perte en ligne. Dans une distribution ordinaire la perte relative est

(1) A. DELLA RICCIA. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.

proportionnelle à la consommation moyenne ; et si l'on pose, en passant des motrices aux sous-stations,

$$w_{0,s} = w_{0,m}\,(1 + s_0),$$

pour le cas de la traction ordinaire, on devrait écrire

$$w_{r,s} = w_{r,m}\left(1 + \frac{s_0\, w_{r,m}}{w_{0,m}}\right)$$

pour le cas de la traction à récupération.

Remarquons, pour nous en servir plus loin, la relation

$$(w_{0,s} - w_{r,s}) = w_{0,m}\,(1 + s_0) - w_{r,m}\left(1 + \frac{s_0\, w_{r,m}}{w_{0,m}}\right)$$

$$= (w_{0,m} - w_{r,m})\left(1 + \frac{s_0\,(w_{0,m} + w_{r,m})}{w_{0,m}}\right).$$

Elle démontre que l'avantage de la récupération d'énergie s'accentue en passant des motrices aux sous-stations, et cela d'autant plus que s_0 est plus grand, car le quotient $\left(\frac{w_{0,m} + w_{r,m}}{w_{0,m}}\right)$ est plus grand que l'unité.

Mais on pourrait faire valoir que les échanges d'énergie entre les motrices en période de freinage et les autres motrices ou les sous-stations, produisent des pertes accessoires.

Nous allons démontrer : 1° que ces pertes sont insignifiantes ; 2° que si, au lieu de tenir compte de ces pertes, on se borne à adopter pour s_0 une valeur plutôt basse, on place encore une fois la traction à récupération dans des conditions défavorables.

1° Supposons, en effet, que les sous-stations soient à une distance de 3 km l'une de l'autre et qu'elles alimentent, sur chaque ligne voisine, deux tronçons contigus, à double voie, d'une longueur d'environ 2 km chacun.

Avec une vitesse commerciale comprise entre 22 et 28 km : h et avec un intervalle moyen de 90 s entre trains successifs, il y a généralement trois trains sur chaque voie du tronçon, ou six trains sur le tronçon. Le rapport entre la durée du freinage et la durée totale de marche et d'arrêt varie entre 6 et 30 pour 100, avec une moyenne de 10 pour 100. Il y a donc en moyenne un train sur dix se trouvant en freinage. Le rapport entre la quantité d'énergie émise par une motrice au freinage et celle définitivement consommée par elle varie de 19 à 84 pour 100, avec une moyenne de 52 pour 100. Le courant produit s'achemine généralement en suivant deux directions opposées et parcourt généralement un sixième du tronçon.

On exagère donc beaucoup les pertes si on suppose : qu'il y ait un train au freinage sur six ; qu'il émette une quantité d'énergie égale à celle qu'il consomme ; que le courant émis ne se partage pas et qu'il parcoure un tiers du tronçon.

Avec cette quadruple exagération on trouve que la perte accessoire due aux échanges d'énergie vaut 1,85 pour 100 de celle due à la simple transmission aux trains de l'énergie sortant des sous-stations. Cette perte accessoire pourrait donc être négligée sans scrupule.

Mais pour placer la récupération dans les conditions les plus défavorables, nous adopterons pour s_0 la valeur très réduite 0,06, alors que la perte relative d'énergie en passant des sous-stations aux motrices est généralement sensiblement plus élevée.

Pour bien se rendre compte de l'effet de cette décision, il n'y a qu'à examiner le tableau I.

TABLEAU I. — *Comparaison des économies d'énergie mesurées aux motrices et mesurées aux sous-stations (en watts-heures par tonne-kilomètre).*

Consommation aux motrices	ordinaire $w_{0,m}$	40,0	50,0	70,0
	récupération $w_{r,m}$	32,0	35,0	42,0
Différence $w_{0,m} - w_{r,m}$		8,0	15,0	28,0
Dans le cas d'une perte réduite $1 + s_0 = 1{,}06$.				
Consommation aux sous-stations	ordinaire $w_{0,s}$	42,40	53,00	74,21
	récupération $w_{r,s}$	33,54	36,47	43,51
Différence $w_{0,s} - w_{r,s}$		8,86	16,53	31,70
Dans le cas d'une perte plus élevée $1 + s_0 = 1{,}15$.				
Consommation aux sous-stations	ordinaire $w_{0,s}$	46,00	57,50	80,50
	récupération $w_{r,s}$	35,84	38,68	45,78
Différence $w_{0,s} - w_{r,s}$		10,16	18,82	34,72

Il est donc évident que nous plaçons la récupération dans des conditions particulièrement défavorables en adoptant le coefficient de passage $1 + s_0 = 1{,}06$.

V. Etablissement comparatif des dépenses. — 1. DÉPENSE D'ÉNERGIE. -- Désignons par Q le poids, en tonnes, réel ou accru, de l'unité mise en mouvement par les moteurs d'un équipement, par V la vitesse commerciale, en kilomètres par heure, par w_0 et w_r les consommations unitaires d'énergie, en watts-heures par tonne-kilomètre, par s_0 et $s_0 \frac{w_r}{w_0}$ les coefficients de perte d'énergie entre les motrices et les sous-stations. Les consommations horaires d'énergie e_0 et e_r aux

sous-stations sont données, en kilowatts-heures, par les expressions suivantes

$$e_0 = Q V w_0 (1 + s_0) \times 10^{-3},$$

$$e_r = Q V w_r \left(1 + s_0 \frac{w_r}{w_0}\right) \times 10^{-3},$$

et leur différence par

$$e_0 - e_r = Q V (w_0 - w_r) \left(1 + s_0 \frac{w_0 + w_r}{w_0}\right) \times 10^{-3}.$$

Désignons par H la durée de marche annuelle des motrices, sans tenir compte de la réduction de cette durée produite par l'utilisation du matériel roulant de réserve, et ε le prix du kilowatt-heure, en francs français, à la sortie des sous-stations. Les dépenses annuelles en énergie sont données par les expressions

$$E_0 = Q V w_0 (1 + s_0) H\varepsilon \times 10^{-3},$$

$$E_r = Q V w_r \left(1 + s_0 \frac{w_r}{w_0}\right) H\varepsilon \times 10^{-3},$$

et leur différence par

$$E_0 - E_r = Q V (w_0 - w_r) \left(1 + s_0 \frac{w_0 + w_r}{w_0}\right) H\varepsilon \times 10^{-3}.$$

2. Charges de capital. — Nous avons vu que si W_0 et W_r sont les puissances unitaires en kilowatts par tonne (réelle ou accrue), la puissance unihoraire globale des moteurs de l'équipement correspondant à un poids Q de train ordinaire s'exprime par

$$p_0 = 2{,}6\, Q W_0 \quad \text{et} \quad p_r = 2{,}6\, Q W_r.$$

Les prix des deux sortes d'équipements, ordinaire et à récupération, peuvent être représentés, avec une approximation très suffisante, par des formules telles que

$$C_0 = k_0 {p_0}^{m_0} \quad \text{et} \quad C_r = k_r {p_r}^{m_r}.$$

Une étude de différentes propositions émanant de différents constructeurs nous a amenés à adopter, pour la présente étude, les valeurs suivantes (fig. 3) :

$$m_0 = m_r = 0{,}625, \quad k_0 = 6\,500 \quad \text{et} \quad k_r = 8\,000.$$

La valeur 8 000 pour le coefficient k_r est beaucoup plus exagérée que la valeur 6 500 pour le coefficient k_0. En effet, pour

$$\frac{p_r}{p_0} = 1{,}40 \quad \text{ou} \quad \frac{{p_r}^{0,625}}{{p_0}^{0,625}} = 1{,}234,$$

au lieu du rapport

$$\frac{C_r}{C_0} = 1{,}234 \times \frac{8\,000}{6\,500} = 1{,}519,$$

les offres des constructeurs font apparaître un rapport $\frac{C_r}{C_0}$ inférieur à 1,40.

Cette exagération anormale du coefficient k_r (ou du coût C_r) constitue une autre condition sérieusement

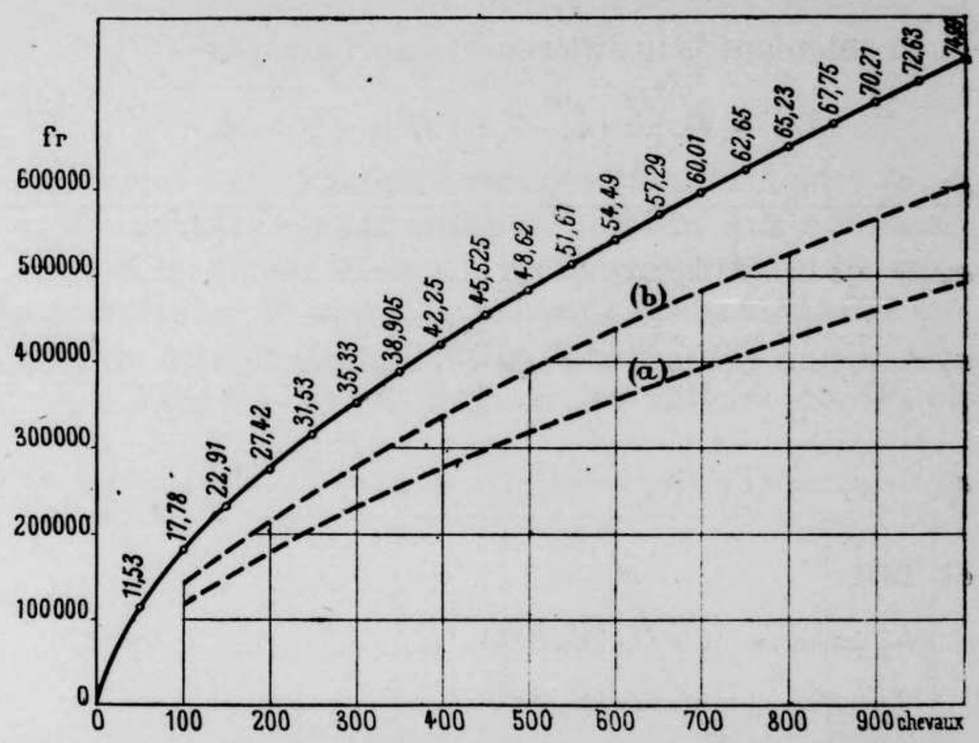


Fig. 3. — Prix des équipements électriques, pour traction ordinaire et à récupération, en fonction de la puissance globale des moteurs (supposés non ventilés) en régime unihoraire : a, traction ordinaire ; b, traction à récupération.

défavorable, et ceci volontairement imposée à la traction à récupération.

La différence de prix entre les deux sortes d'équipements peut dans ces conditions s'exprimer par la formule

$$C_r - C_0 = 8\,000\,(2{,}6\, Q W_r)^{0{,}625} - 6\,500\,(2{,}6\, Q W_0)^{0{,}625}$$
$$= 905\, Q^{0{,}625} (16\, {W_r}^{0{,}625} - 13\, {W_0}^{0{,}625}).$$

Les prix C_0 et C_r doivent s'entendre valables pour des pays possédant en propre une industrie des constructions électriques (France, Allemagne, Angleterre, Etats-Unis, etc.). Pour les autres il y aurait lieu de tenir compte des frais éventuels de transport et de douane.

Il y a lieu de remarquer que le poids de l'unité de train intervient à la puissance 1 dans la détermination de l'économie d'énergie $E_0 - E_r$, et à la puissance 0,625 dans celle de l'immobilisation supplémentaire de capitaux $C_r - C_0$. Il y a donc avantage à ne pas adopter des unités de train trop petites.

3. Comparaison économique. — Désignons par r le rapport entre le nombre des unités constituant la réserve et celui des unités en marche, rapport ordinairement égal à 0,10, et par γ un coefficient à appliquer aux immobilisations C_0 et C_r pour chiffrer la dépense annuelle globale d'entretien du matériel, l'intérêt et l'amortissement du capital, coefficient qui est généralement de l'ordre de 13 pour 100.

Dans ces conditions, on fera la comparaison économique des deux modes de traction pour une durée

annuelle de marche des motrices égales à H, en rapprochant les deux dépenses annuelles composées

$$D_0 = E_0 + \gamma\,(1+r)\,C_0 = a_0 H + b_0,$$
$$D_r = E_r + \gamma\,(1+r)\,C_r = a_r H + b_r,$$

et en calculant leur différence, exprimée par

$$D_0 - D_r = (a_0 - a_r)\,H - (b_r - b_0),$$

où

$$a_0 = e_0 \varepsilon = Q V w_0 (1 + s_0)\,\varepsilon \times 10^{-3},$$

$$a_r = e_r \varepsilon = Q V w_r \left(1 + s_0 \frac{w_r}{w_0}\right) \varepsilon \times 10^{-3},$$

$$a_0 - a_r = Q V (w_0 - w_r) \left(1 + s \frac{w_0 + w_r}{w_0}\right) \varepsilon \times 10^{-3},$$

et

$$b_0 = \gamma\ 11\ 765\ (Q W_0)^{0,625},$$
$$b_r = \gamma\ 14\ 480\ (Q W_r)^{0,625}.$$
$$b_r - b_0 = \gamma\ 905\ Q^{0,625} (16\ W_r^{0,625} - 13\ W_0^{0,625}).$$

Il existe donc une certaine durée annuelle de marche H, pour laquelle les deux dépenses annuelles sont égales,

$$H' = \frac{b_r - b_0}{a_0 - a_r}.$$

Au delà de cette durée, la traction à récupération apporte un avantage $(a_0 - a_r)$ par heure, de manière que pour une durée annuelle de marche de 4 200 heures, par exemple, l'avantage en faveur de la traction à récupération sera

$$D_0 - D_r = (4\,200 - H')(a_0 - a_r) = 4\,200\,(a_0 - a_r) - (b_r - b_0).$$

VI. Durée annuelle de la marche des trains. — Dans une exploitation de chemins de fer métropolitains le diagramme annuel de marche des trains ressemble à celui indiqué par la figure 4. Si l'on ne tient pas compte du matériel de réserve, la durée moyenne de marche des trains est d'environ 4 200 heures par an. La décomposition du diagramme en dix tranches horizontales montre que les cinq tranches inférieures ou de base correspondent à une durée de marche moyenne de 6 570 heures par an, et que les cinq tranches supérieures ou de pointe correspondent à une durée de marche moyenne de 1 825 heures par an.

On voit donc que si l'on renonce à faire faire exactement le même parcours annuel à toutes les voitures, on peut réaliser le trafic total de différentes manières : soit, comme premier exemple, au moyen de cinq tranches de matériel roulant en service environ 16 heures par jour ou 5 840 heures par an et cinq autres tranches de matériel en service environ 7 heures par jour ou 2 560 heures par an; soit, comme deuxième exemple, au moyen de quatre tranches en service 14 heures par jour environ ou 5 100 heures par an, et six tranches en service 10 heures par jour environ ou 3 600 heures par an. Ce second exemple est tout à fait acceptable. Même à la vitesse commerciale de 28 km

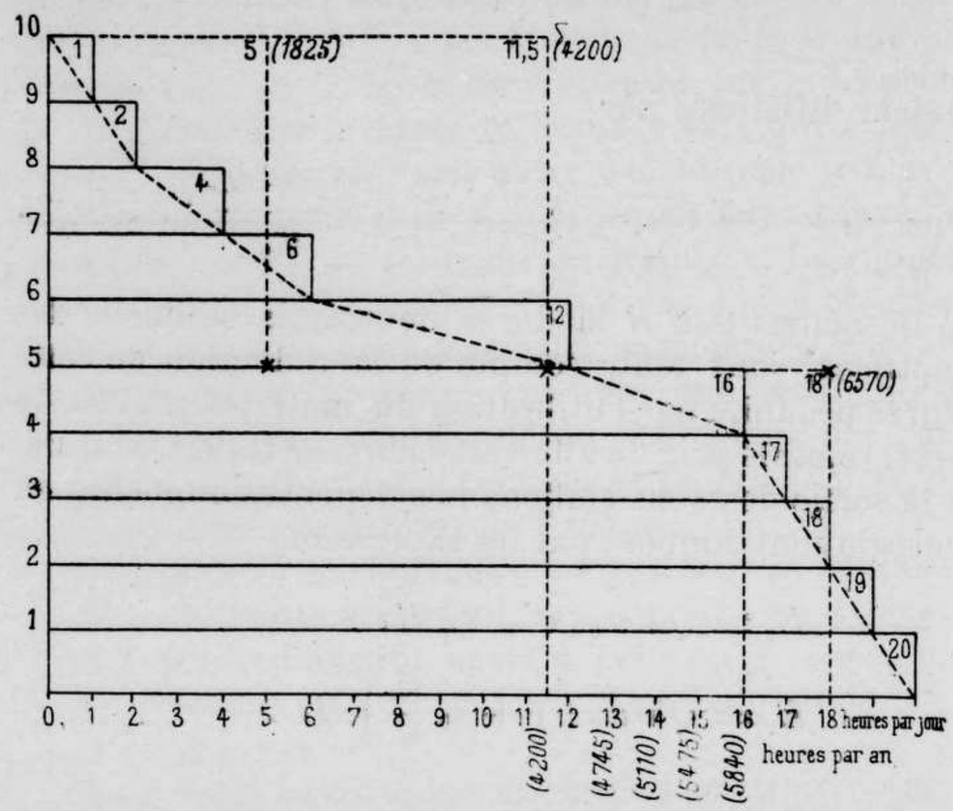


Fig. 4. — Diagramme monotone du service journalier dans un chemin de fer souterrain ou aérien urbain.

par heure, le parcours annuel des voitures des quatre tranches de base n'est pas excessif

$$5\,100 \times 28 = 142\,800 \text{ km : an},$$

parcours qui se réduit à 130 000 km par an si à 100 voitures en marche normale correspondent 10 autres voitures de réserve.

Cas de la traction mixte. — Considérons une combinaison des deux modes de traction comprenant N_0 unités de train ordinaires, marchant en moyenne H_0 heures par an, et N_r unités de train à récupération, marchant en moyenne H_r heures par an, et posons

$$N_0 + N_r = N, \qquad N_0 H_0 + N_r H_r = N H.$$

On peut désirer connaître le rapport Γ entre l'économie d'énergie et l'immobilisation supplémentaire que cette combinaison, ou traction mixte, comporte par rapport à la dépense d'énergie et à l'immobilisation correspondant à l'application de la traction ordinaire pure.

Au lieu de la dépense annuelle d'énergie NHa_0, on aura la dépense $N_0 H_0 a_0 + N_r H_r a_r$; et au lieu de l'immobilisation $(1+r)NC_0$ on aura l'immobilisation $(1+r)(N_0 C_0 + N_r C_r)$,

L'économie annuelle en énergie sera donc

$$(N_0 H_0 + N_r H_r)\,a_0 - (N_0 H_0 a_0 + N_r H_r a_r) = N_r H_r (a_0 - a_r)$$

et l'immobilisation supplémentaire sera

$$(1+r)(N_0 C_0 + N_r C_r) - (1+r)(N_0 + N_r) C_0 = (1+r) N_r (C_r - C_0).$$

Le rapport entre ces deux éléments sera, par conséquent,

$$\Gamma = \frac{H_r N_r}{N_r (1 + r)} \frac{a_0 - a_r}{C_r - C_0} = \frac{H_r}{1 + r} \frac{a_0 - a_r}{C_r - C_0}.$$

Ce rapport est évidemment indépendant des nombres N_0 et N_r, chaque unité à récupération apportant avec elle en même temps son immobilisation supplémentaire et son économie annuelle. Mais il dépend de H_r.

Le bénéfice net de l'opération de substitution des unités à récupération aux unités ordinaires est donné par la différence $\Gamma - \gamma$ (γ comprenant l'intérêt ordinaire et l'amortissement normal, outre l'entretien). Le rapport Γ synthétise la question financière.

VII. Données numériques relatives à quelques cas particuliers à une seule unité de train. — 1. Examen de quelques cas pratiques. — Si la distance L est exprimée en mètres et la durée $T + t$, en secondes, la vitesse commerciale a pour expression

$$V = \frac{3{,}6\ L}{T + t} \text{ en kilomètres par heure.}$$

Nous avons étudié les douze cas suivants :

(a) $L = 400, 450, 500, 550$ m avec $V = 22$ km : h,

(b) $L = 500, 550, 600, 650$ m avec $V = 25$ km : h,

(c) $L = 600, 650, 700, 750$ m avec $V = 28$ km : h.

Comme nous le verrons, les trois cas de chaque colonne correspondent à des puissances motrices sensiblement égales en traction ordinaire (630, 580, 540, 505 chevaux en régime unihoraire par équipement).

Nous supposerons que l'unité de train ordinaire pèse 76,9, 75,2, 74,4, 73,6 t effectives à demi-charge, ces différences de poids devant s'entendre dues aux équipements électriques de puissances motrices différentes.

Pour réaliser les mêmes parcours annuels et la même fréquence au départ des trains, tout au moins approximativement, il faudra prévoir, par exemple, 9 unités dans les conditions (a), 8 dans les conditions (b) et 7 dans les conditions (c) ; en effet

$$9 \times 22 = 198, \quad 8 \times 25 = 200, \quad 7 \times 28 = 196$$

unités-kilomètres par heure (198 plus ou moins 2).

Les résultats des calculs relatifs à ces douze cas sont exposés dans les tableaux 2 et 3.

2. Examen des données du tableau II. — Les lignes 5 et 6 de ce tableau donnent les valeurs de $w_{0,m}$ et $w_{r,m}$ tirées de la figure 1 ; les lignes 7 et 8, le produit de ces consommations par le poids Q de l'unité, c'est-à-dire les consommations kilométriques ; les lignes 9 et 10, le produit de ces dernières par la vitesse commerciale V, c'est-à-dire les consommations horaires aux motrices ; les lignes 11 et 12 indiquent le coefficient qui permet de passer de l'énergie demandée par les motrices à la ligne à celle demandée par la ligne aux sous-stations ($1 + 0{,}06$) dans le cas de la traction ordinaire et

$$1 + 0{,}06 \frac{w_r}{w_0},$$

dans celui de la traction à récupération ; les lignes 13 14 donnent les consommations horaires aux sous-stations et les lignes 15 et 16, les dépenses horaires correspondantes, le coût c du kilowatt-heure étant fixé au taux de 0,40 fr (français) (fig. 5 a).

Les lignes 17 et 18 donnent les valeurs de W_0 et

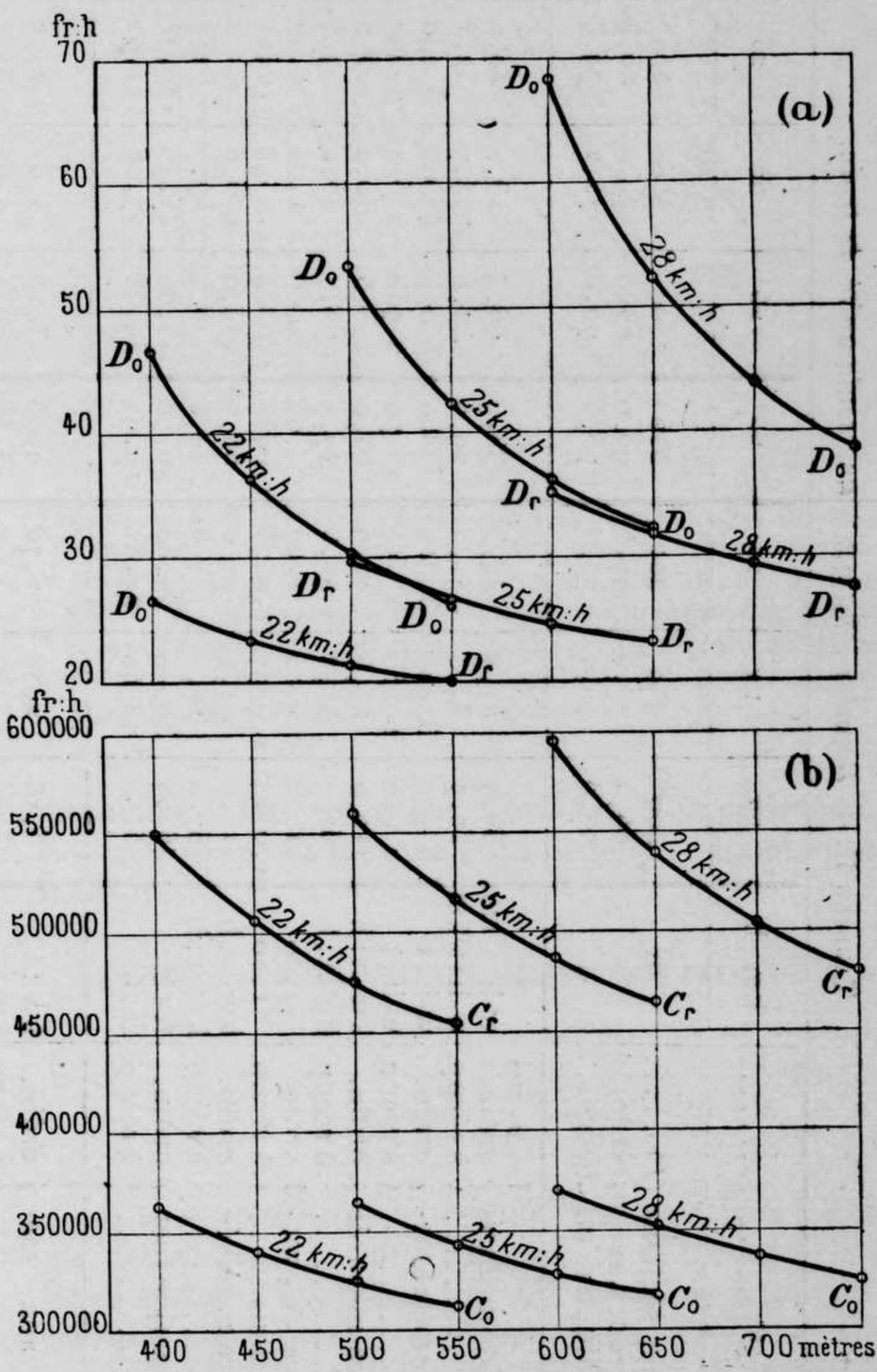


Fig. 5. — Courbes des variations, pour diverses vitesses commerciales, avec arrêts de 15 s, en fonction de la longueur moyenne des sections : a, de la dépense d'énergie, en francs par heure ; b, du prix d'un équipement électrique en francs ; D_0 et C_0 se rapportent à la traction ordinaire ; D_r et C_r à la traction à récupération.

W_r tirées de la figure 2 ; les lignes 19 et 20, les produits de ces puissances par le poids Q de l'unité, c'est-à-dire les puissances totales des équipements en régime

TABLEAU II. — *Données relatives à une seule unité de train.*

1	Vitesse commerciale (V).....		km : h	22	22	22	22	25	25	25	25	28	28	28	28
2	Longueur moyenne des sections (L).....		m	400	450	500	550	500	550	600	650	600	650	700	750
3	Durée moyenne du parcours, avec arrêt de 15 s		s	65,5	73,6	81,8	90,0	72,0	79,2	86,4	93,6	77,2	83,5	90,0	96,5
4	Poids de l'unité de train, à demi-charge...		t	76,0	75,2	74,4	73,6	76,0	75,2	74,4	73,6	76,0	75,2	74,4	73,6
5	Consommation d'énergie mesurée aux motrices.....	en traction ordin.	w-h : t-km	65,7	51,8	44,3	38,9	66,4	53,2	46,2	41,4	75,8	58,6	49,9	44,5
6		à récup.	w-h : t-km	38,7	34,3	31,5	29,5	38,8	34,7	32,1	30,2	40,4	36,6	34,0	32,0
7	Consommation par kilomètre mesurée aux motrices.....	ordin.	w-h : t	5 000	3 900	3 300	2 860	5 060	4 000	3 440	3 050	5 760	4 410	3 710	3 275
8		à récup.	w-h : t	2 940	2 580	2 345	2 170	2 950	2 610	2 390	2 225	3 070	2 750	2 530	2 355
9	Consommation horaire mesurée aux motrices.....	ordin.	kw-h : h	110,0	85,8	72,6	63,0	126,5	100,0	86,0	76,3	161,2	123,5	104,0	91,7
10		à récup.	kw-h : h	64,7	56,8	51,6	47,7	73,7	65,2	59,8	55,6	86,0	77,0	71,0	66,0
11	Coefficient de passage des motrices aux sous-stations.....	ordin.	1,00	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
12		à récup.	1,00	1,0354	1,0397	1,0426	1,0455	1,0350	1,0391	1,0417	1,0438	1,0319	1,0374	1,0408	1,0431
13	Consommation horaire mesurée aux sous-stations.....	ordin.	kw-h : h	116,6	91,0	77,0	66,75	134,0	106,0	91,2	81,0	171,0	131,0	110,3	97,2
14		à récup.	kw-h : h	67,0	59,0	53,8	49,8	76,2	67,7	62,3	58,0	88,7	79,9	73,9	68,8
15	Dépense horaire d'énergie par unité de train.....	ordin.	fr : h	46,64	36,40	30,80	26,70	53,60	42,40	36,48	32,40	68,40	52,40	44,12	38,88
16		à récup.	fr : h	26,80	23,60	21,52	19,92	30,48	27,08	24,92	23,20	35,48	31,96	29,56	27,52
17	Puissance requise aux motrices.....	ordin.	kw : t	3,16	2,88	2,70	2,56	3,18	2,91	2,77	2,64	3,26	3,03	2,87	2,71
18		à récup.	kw : t	4,40	3,93	3,59	3,36	4,54	4,04	3,72	3,48	5,00	4,34	3,94	3,69
19	Puissance totale aux motrices.	ordin.	kw	240	217	201	189	242	219	206	194	248	228	214	200
20		à récup.	kw	334	295	267	247	345	304	277	256	380	326	293	272
21	Puissance globale des moteurs.	ordin.	chevaux unihoraires	624	564	523	492	630	570	536	505	645	593	556	520
22		à récup.		868	767	695	642	897	790	720	666	988	847	762	707
23	Coût de l'équipement nécessaire.....	ordin.	fr	363 000	341 000	325 000	312 000	365 000	343 000	330 000	317 000	370 000	352 000	338 000	325 000
24		à récup.	fr	550 000	507 000	475 000	455 000	560 000	517 000	488 000	465 000	595 000	540 000	505 000	482 000
25	Puissance aux sous-stations....	ordin.	kw	146,0	113,8	96,2	83,5	167,5	132,5	114,0	101,3	213,5	164,0	138,0	121,5
26	$\left(\frac{\text{kw-h}}{\text{h}} \times \frac{4\,200\ \text{h}}{3\,360\ \text{h}}\right)$	à récup.	kw	83,7	73,8	67,3	62,5	95,3	83,3	78,0	72,9	111,0	100,0	92,3	86,0
27	Différence entre les deux dépenses horaires d'énergie ($D_0 - D_r$).....		fr : h	19,84	12,80	9,28	6,78	23,12	15,32	11,56	9,20	32,92	20,44	14,56	11,36
28	Différence entre les coûts des deux équipements ($C_r - C_0$).....		fr	187 000	166 000	150 000	143 000	195 000	174 000	158 000	148 000	225 000	188 000	167 000	157 000
29	Rapport $(D_0 - D_r) : (C_r - C_0) = x$.....		par heure	0,01060	0,00771	0,00619	0,00474	0,01185	0,00880	0,00731	0,00622	0,01463	0,01088	0,00872	0,00724
30	Rapport r tenant compte du matériel de réserve.....		par heure	0,00963	0,00700	0,00563	0,00431	0,01077	0,00800	0,00665	0,00565	0,01329	0,00989	0,00792	0,00658
31	Pour 11,5 h : jour ou 4 200 h : an, r = ...		centièmes	40,5	29,4	23,6	18,1	45,2	33,6	27,9	23,7	55,8	41,5	33,2	27,6
32	Pour 13 h : jour ou 4 745 h : an, r = ...		id	45,7	33,2	26,7	20,4	51,1	38,0	31,5	26,8	63,0	47,0	37,6	31,3
33	Pour 14 h : jour ou 5 110 h : an, r = ...		id	49,2	35,8	28,7	22,0	55,0	40,8	34,0	28,85	68,0	50,5	40,5	33,6
34	Pour 15 h : jour ou 5 475 h : an, r = ...		id	52,7	38,3	30,8	23,5	58,9	43,8	36,4	30,9	72,7	54,2	43,3	36,0
35	Pour 16 h : jour ou 5 840 h : an, r = ...		id	56,2	40,9	32,9	25,1	62,8	46,7	38,8	33,0	77,6	57,8	46,2	38,4

continu ; les lignes 21 et 22, les mêmes puissances en chevaux au régime unihoraire (moteurs non ventilés) ; les lignes 23 et 24, les prix C_0 et C_r des équipements en francs (français) (fig. 5 b). Les lignes 25 et 26, les puissances nécessaires aux sous-stations, en dehors de toute réserve, pour l'alimentation d'une unité de train. Ces puissances sont déterminées en supposant que les unités de train marchent 4 200 heures par an et que l'utilisation moyenne de la puissance active des sous-stations soit de 3 360 heures par an, comme cela a lieu généralement (fig. 8 a).

La ligne 27 donne la différence des deux dépenses horaires d'énergie aux sous-stations relatives aux deux modes de traction ; la ligne 28, la différence entre les prix des deux sortes d'équipements ; la ligne 29, le rapport x entre la différence des dépenses horaires et la différence des prix des équipements et la ligne 30, la valeur de x divisée par $(1 + r) = 1,10$ pour tenir compte du matériel de réserve. Les lignes 31, 32, 33, 34 et 35 donnent les produits de ce quotient par 4 200, 4 745, 5 110, 5 475, 5 840 heures de marche par an c'est-à-dire les valeurs de Γ pour des durées journalières de marche de 11,5, 13, 14, 15 et 16 heures.

Pour la durée de marche de 4 200 heures par an (durée rapportée aux seules unités en marche normale, à l'exclusion des unités de réserve) on trouve :

Pour $V = 22$ km : h, une valeur de Γ comprise entre 40,5 pour 100, pour $L = 400$ m et 18,1 pour 100 pour $L = 550$ m ;

Pour $V = 25$ km : h, une valeur de Γ comprise entre 45,2 pour 100, pour $L = 500$ m et 23,7 pour 100 pour $L = 650$ m ;

Pour $V = 28$ km : h, une valeur de Γ comprise entre 55,8 pour 100, pour $L = 600$ m et 27,6 pour 100 pour $L = 750$ m.

Toutes ces valeurs de Γ dépassent déjà considérablement la valeur ordinaire de 13,0 pour 100 de γ qui couvre, outre l'entretien du matériel, l'intérêt et l'amortiseement du capital engagé. On commence à voir que le remplacement total de la traction ordinaire par la traction à récupération est une opération économiquement très avantageuse.

Si on considère maintenant la durée de marche de 5 840 heures par an, on trouve :

Pour $V = 22$ km : h, une valeur de Γ comprise entre 56,2 pour 100, pour $L = 400$ m et 25,1 pour 100 pour $L = 550$ m ;

Pour $V = 25$ km : h, une valeur de Γ comprise entre 62,8 pour 100, pour $L = 500$ m et 33,0 pour 100 pour $L = 650$ m ;

Pour $V = 28$ km : h, une valeur de Γ comprise entre 77,6 pour 100, pour $L = 600$ m et 38,4 pour 100 pour $L = 750$ m.

Le remplacement partiel de la traction ordinaire par la traction à récupération porte donc à des rémunérations très élevées des capitaux engagés (fig. 6).

Si l'on suppose que l'entretien supplémentaire des équipements absorbe 4,7 pour 100 du coût supplémentaire de ces équipements par an, $\Gamma - 4,7$ est un pourcentage limite pouvant être employé à l'amortissement rapide du coût supplémentaire, amortissement possible alors en un nombre d'années égal à $\frac{100}{\Gamma - 4,7}$, en négligeant les intérêts produits par les réserves

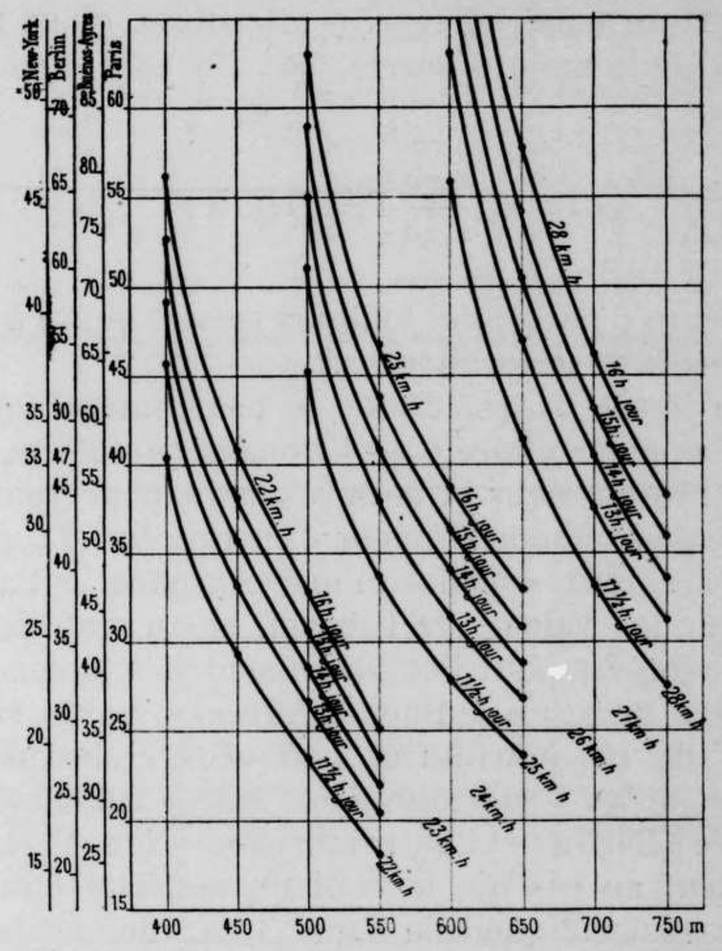


Fig. 6. — Courbes des variations du pourcentage Γ du capital supplémentaire $(C_r - C_0)$ (tenant compte du matériel de réserve) payé par la seule économie annuelle d'énergie $(D_0 - D_r)$, en fonction de la longueur moyenne des sections pour diverses valeurs de la vitesse commerciale, avec arrêt de 15 s et selon la durée journalière de service admise pour les motrices.

annuelles. Passée cette période d'amortissement, $\Gamma - 4,7$ donne la mesure d'un bénéfice annuel absolument net.

3. Extension des résultats a différents pays. — Reportons-nous à l'expression

$$\Gamma = \frac{H_r}{1 + r} \frac{a_0 - a_r}{C_r - C_0},$$

où a_0 et a_r sont les dépenses horaires relatives à l'énergie demandée aux sous-stations, C_0 et C_r, les prix des deux sortes d'équipements, H_r, la durée annuelle de marche des motrices à récupération, $1 + r$, le coefficient correctif tenant compte de l'existence du matériel de réserve. Le numérateur $a_0 - a_r$ dépend donc du prix de l'énergie et le dénominateur $C_r - C_0$ du prix du matériel électrique dans la région que l'on considère. Il est donc extrêmement facile de passer des conclusions tirées plus haut, et se rapportant à des prix d'énergie et de matériel de l'ordre de ceux pratiqués en France, à des conditions applicables dans un autre pays.

Considérons, par exemple, quel peut être l'avantage

qu'il est possible de retirer de l'application de la récupération en Argentine. Il existe à Buenos-Ayres des chemins de fer électriques souterrains et on va en construire d'autres. Dans ce pays, le matériel électrique revient quelque 20 pour 100 et l'énergie électrique quelque 70 pour 100 plus cher qu'en France, tant en raison du transport du matériel et du combustible, qu'en raison du prix de la main-d'œuvre, etc. On aura donc pour ce pays

$$\Gamma_a = \frac{1,70}{1,20}\,\Gamma = 1,415\,\Gamma.$$

La figure 6 peut donc toujours servir, quitte à changer l'échelle de ses ordonnées.

Cette figure 6, qui donne le pourcentage total du capital supplémentaire $C_r - C_0$, tenant compte du matériel de réserve dans la mesure de 10 pour 100, payé par la seule économie annuelle d'énergie $D_0 - D_r$, porte à sa gauche deux échelles, l'une marquée « Paris », basée sur les valeurs de l'énergie et du matériel électrique adoptées pour l'établissement des tableaux I et II, l'autre marquée « Buenos-Ayres », basée sur les valeurs de ces fournitures indiquées ci-dessus. Elle porte en outre à sa droite deux autres échelles, l'une marquée « Berlin » et l'autre marquée « New-York », qui s'adaptent au cas où, le coût du matériel électrique restant celui indiqué à la figure 3, le kilowatt-heure à la sortie des sous-stations vaudrait respectivement 0,47 ou 0,33 franc français, ces prix étant, à peu de chose près, ceux pratiqués à Berlin ou à New-York.

La figure 7 est déduite, par interpolation et extrapolation graphique, de la figure 6 et porte les mêmes quatre échelles. Elle renseigne sur les seuls pourcentages relatifs à une durée de service de 11,5 heures par jour ou 4 200 heures par an. Les pourcentages relatifs aux autres durées, par exemple celle de 14 heures par jour ou 5 110 heures par an, peuvent être déduits par simple proportion,

Cette figure permet de trouver rapidement des résultats approximatifs analogues aux suivants :

Pour Paris, où $L = 513$ m et $V = 22$ km : h : pour $H = 4\,200$ h : an, pourcentage total $\Gamma = 22,0$ centièmes, dividende supplémentaire $\Gamma - 13 = 9,0$ centièmes, ou bien amortissement immédiat en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 5,77$ années ; pour $H = 5\,110$ h : an, pourcentage total $\Gamma = 26,8$ centièmes, dividende supplémentaire $\Gamma - 13 = 13,8$ centièmes, ou bien amortissement immédiat en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 4,51$ années.

Pour Buenos-Ayres, où $L = 522$ m et $V = 23$ km : h : pour $H = 4\,200$ h : an, $\Gamma = 37,4$ centièmes, $\Gamma - 13 = 24,4$ centièmes, ou bien amortissement en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 3,05$ années ; pour $H = 5\,110$ h : an ; $\Gamma = 45,6$ centièmes, $\Gamma - 13 = 32,6$ centièmes, ou bien amortissement en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 2,44$ années.

Pour Berlin, où $L = 700$ m et $V = 25$ km : h : pour $H = 4\,200$ h : an, $\Gamma = 23,2$ centièmes, $\Gamma - 13 = 10,2$ centièmes, ou bien amortissement en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 5,40$ années ; pour $H = 5\,110$ h : an, $\Gamma = 28,2$ centièmes, $\Gamma - 13 = 15,2$ centièmes ou bien amortissement en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 4,25$ années.

Pour New-York, où, à tout prendre, $L = 570$ m et $V = 26,5$ km : h : pour $H = 4\,200$ h : an, $\Gamma = 35,5$ centièmes, $\Gamma - 13 = 22,5$ centièmes, ou bien amortissement en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 3,25$ années ; pour $H = 5\,110$ h : an, $\Gamma = 43,2$ centièmes, $\Gamma - 13 = 30,2$ centièmes ou bien amortissement en 100 : $(\Gamma - 4,7) = 2,59$ années.

Ces quelques résultats approximatifs, certainement plus ou moins dépassés en pratique pour toutes les

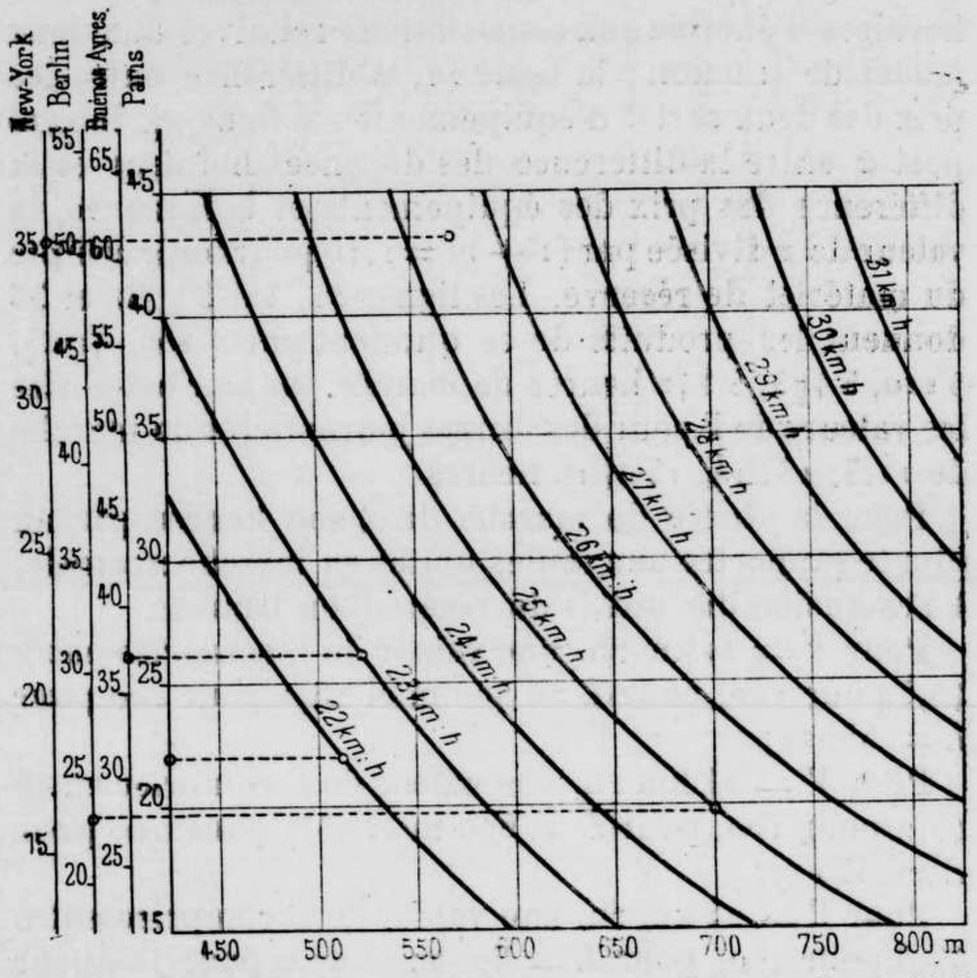


Fig. 7. — Courbes des variations du pourcentage Γ du capital supplémentaire $(C_r - C_0)$ (tenant compte du matériel de réserve) payé par la seule économie annuelle d'énergie $(D_0 - D_r)$, en fonction de la longueur moyenne des sections pour diverses valeurs de la vitesse commerciale, avec arrêt de 15 s et pour une durée de service de 4200 heures par an.

raisons précédemment indiquées, démontrent l'importance des avantages que l'on peut retirer, dans la plupart des cas, de l'application de la traction à récupération en remplacement total ($H = 4\,200$ h : an) ou en remplacement partiel ($H = 5\,110$ h : an) de la traction ordinaire.

VIII. **Données numériques relatives à des cas particuliers de groupes équivalents d'unités de train.** — 1. Examen des données du tableau III. — Examinons maintenant le tableau III qui se rapporte à l'exploitation de 9 unités dans le cas de $V = 22$ km : h, de 8 unités dans celui de $V = 25$ km : h, et de 7 unités dans celui de $V = 28$ km : h, de manière à réaliser le même trafic total dans les trois cas ; c'est-à-dire que, si l'unité de train comprend deux voitures, chacune à 120 places, lesdits groupes d'unités offrent aux voyageurs sensiblement le même nombre de places-kilo-

TABLEAU III. — *Données relatives à des groupes équivalents d'unités de train.*

1	Vitesse commerciale (V) et longueur des sections (L).....	km : h ; m	2 ; 400	22 ; 450	22 ; 500	22 ; 550	25 ; 500	25 ; 550	25 ; 600	25 ; 650	28 ; 600	28 ; 650	28 ; 700	28 ; 750
2	Nombre d'unités de train considérées ensemble.....	*u*	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7
3	Unités-kilomètres par heure.....	*u* km : h	198	198	198	198	200	200	200	200	196	196	196	196
4	Unités-kilomètres en 4 200 heures par an.....	*u* km : h	831 600	831 600	831 600	831 600	840 000	840 000	840 000	840 000	823 200	823 200	823 200	823 200
5	Dépense annuelle d'énergie (37 800 ou 33 600 ou 29 400 h:an) en traction ordin...	fr : an	1 765 000	1 376 000	1 165 000	1 010 000	1 802 000	1 428 000	1 228 000	1 090 000	2 010 000	1 542 000	1 298 000	1 144 000
6	à récup.	fr : an	1 014 000	893 000	813 000	754 000	1 025 000	911 000	837 000	780 000	1 044 000	941 000	870 000	810 000
7	Coût des équipements (avec 10 pour 100 de réserve)..... ordin...	fr	3 593 700	3 375 900	3 217 500	3 088 800	3 212 000	3 018 400	2 904 000	2 789 600	2 849 000	2 710 400	2 602 600	2 502 500
8	à récup.	fr	5 445 000	5 019 300	4 702 500	4 504 500	4 928 000	4 549 600	4 294 400	4 092 000	4 581 500	4 158 000	3 888 500	3 711 400
9	Puissance active aux sous-stations..... ordin...	kw	1 314	1 024	865	752	1 340	1 060	912	810	1 494	1 147	966	851
10	à récup..	kw	753	665	604	561	762	667	624	583	777	700	646	602
	Frais d'exploitation en traction ordinaire.													
11	Dépense annuelle d'énergie.....	fr : an	1 765 000	1 376 000	1 165 000	1 010 000	1 802 000	1 428 000	1 228 000	1 090 000	2 010 000	1 542 000	1 298 000	1 144 000
12	Entretien et charges de capital (13 pour 100) des équipements, réserve comprise.....	fr : an	468 000	439 000	418 000	402 000	417 000	392 000	377 000	363 000	370 000	352 000	338 000	325 000
13	Ensemble.....	fr : an	2 233 000	1 815 000	1 583 000	1 412 000	2 219 000	1 820 000	1 605 000	1 453 000	2 380 000	1 894 000	1 636 000	1 469 000
14	Entretien et charges de capital (13 pour 100) des voitures, réserve comprise.....	fr : an	849 500				755 000				660 500			
15	Exploitation des voitures en service normal.....	fr : an	756 000	1 605 500	1 605 500	1 605 500	672 000	1 427 000	1 427 000	1 427 000	588 000	1 248 500	1 248 500	1 248 500
16	Total général.....	fr : an	3 838 500	3 420 500	3 188 500	3 017 500	3 646 000	3 247 000	3 032 000	2 880 000	3 628 500	3 142 500	2 884 500	2 717 500
	Frais d'exploitation en traction à récupération.													
17	Dépense annuelle d'énergie.....	fr : an	1 014 000	893 000	813 000	754 000	1 025 000	911 000	837 000	780 000	1 044 000	941 000	870 000	810 000
18	Entretien et charges de capital (13 pour 100) des équipements, réserve comprise.....	fr : an	708 000	652 000	612 000	585 000	642 000	591 000	558 000	532 000	596 000	541 000	505 000	482 000
19	Ensemble.....	fr : an	1 722 000	1 545 000	1 425 000	1 339 000	1 667 000	1 502 000	1 395 000	1 312 000	1 640 000	1 482 000	1 375 000	1 292 000
20	Entretien et charges de capital (13 pour 100) des voitures, réserve comprise.....	fr : an	849 500				755 000				660 500			
21	Exploitation des voitures en service normal.....	fr : an	756 000	1 605 500	1 605 500	1 605 500	672 000	1 427 000	1 427 000	1 427 000	588 000	1 248 500	1 248 500	1 248 500
22	Total général.....	fr : an	3 327 500	3 149 500	3 030 500	2 944 500	3 094 000	2 929 000	2 822 000	2 739 000	2 888 500	2 730 500	2 623 500	2 540 500
23	Economie brute (entretien supplémentaire à déduire).....	fr : an	751 000	483 000	352 000	256 000	777 000	517 000	391 000	310 000	966 000	601 000	428 000	334 000
24	Economie nette ou deuxième dividende.....	fr : an	511 000	270 000	158 000	73 000	552 000	318 000	210 000	141 000	740 000	412 000	261 000	177 000
25	Immobilisation supplémentaire...	fr	1 851 300	1 643 400	1 485 000	1 415 700	1 716 000	1 531 200	1 390 400	1 302 400	1 732 500	1 447 600	1 285 900	1 208 900
26	Rémunération supplémentaire)...	centièmes	27,5	16,4	10,65	5,15	32,2	20,7	15,1	10,8	42,7	28,5	20,3	14,65

mètres par an, soit :

$$9 \text{ unités} \times 2 \frac{\text{unités}}{\text{voitures}} \times 120 \frac{\text{places}}{\text{voiture}} \times 22 \frac{\text{km}}{\text{heure}} \times 4\,200 \frac{\text{heures}}{\text{an}} = 199\,584\,000 \frac{\text{places-km}}{\text{an}}.$$

Comme $9 \times 22 = 198$, $8 \times 25 = 200$, $7 \times 28 = 196$, l'écart est de 1 pour 100 en plus pour le deuxième cas et de 1 pour 100 en moins pour le troisième. Il aurait fallu adopter des nombres bien supérieurs à 9, 8, 7, et compliquer inutilement tous les calculs pour faire

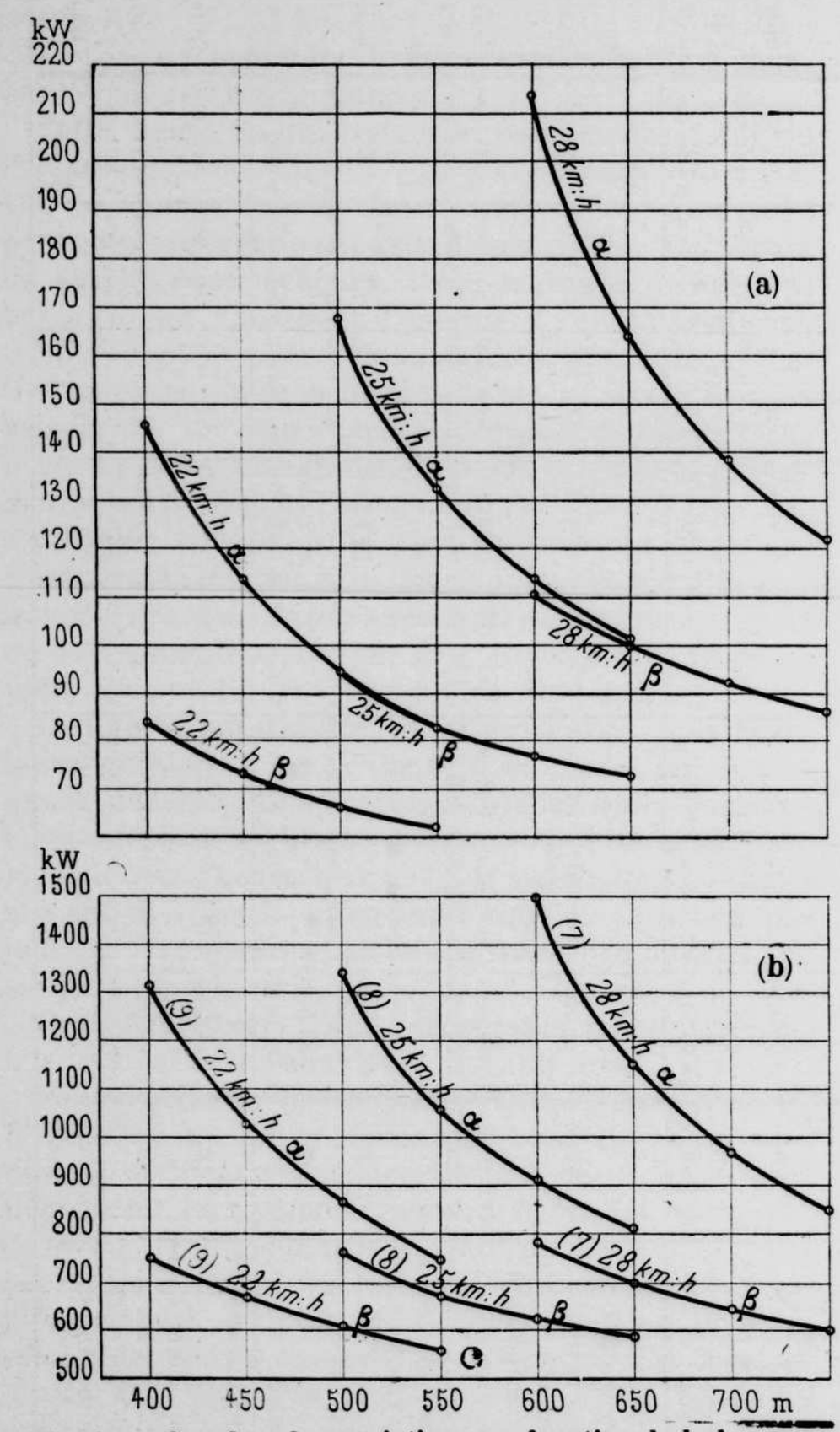


Fig. 8. — Courbes des variations, en fonction de la longueur moyenne des sections et pour diverses vitesses commerciales, de la puissance active nécessaire aux sous-stations, en kilowatts : a, par équipement électrique ; b, par groupes équivalents de motrices. Les courbes α se rapportent à la traction ordinaire et les courbes β, à la traction à récupération.

disparaître cette différence, qui est d'ailleurs pratiquement négligeable.

Les lignes 5 et 6 du tableau donnent les dépenses annuelles d'énergie $4\,200\,Na_0$ et $4200\,Na_r$ (fig. 9 a) ; les lignes 7 et 8, les dépenses de premier établissement $(1+r)\,H\,C_0$ et $(1+r)\,N\,C_2$ (fig. 9 b).

Les lignes 9 et 10, les puissances actives indiquent aux sous-stations. Si on prend dans leur ensemble les douze cas étudiés, on trouve qu'en moyenne la puissance nécessaire aux sous stations n'est, dans le cas de la traction à récupération, que 63 pour 100 de celle néces-

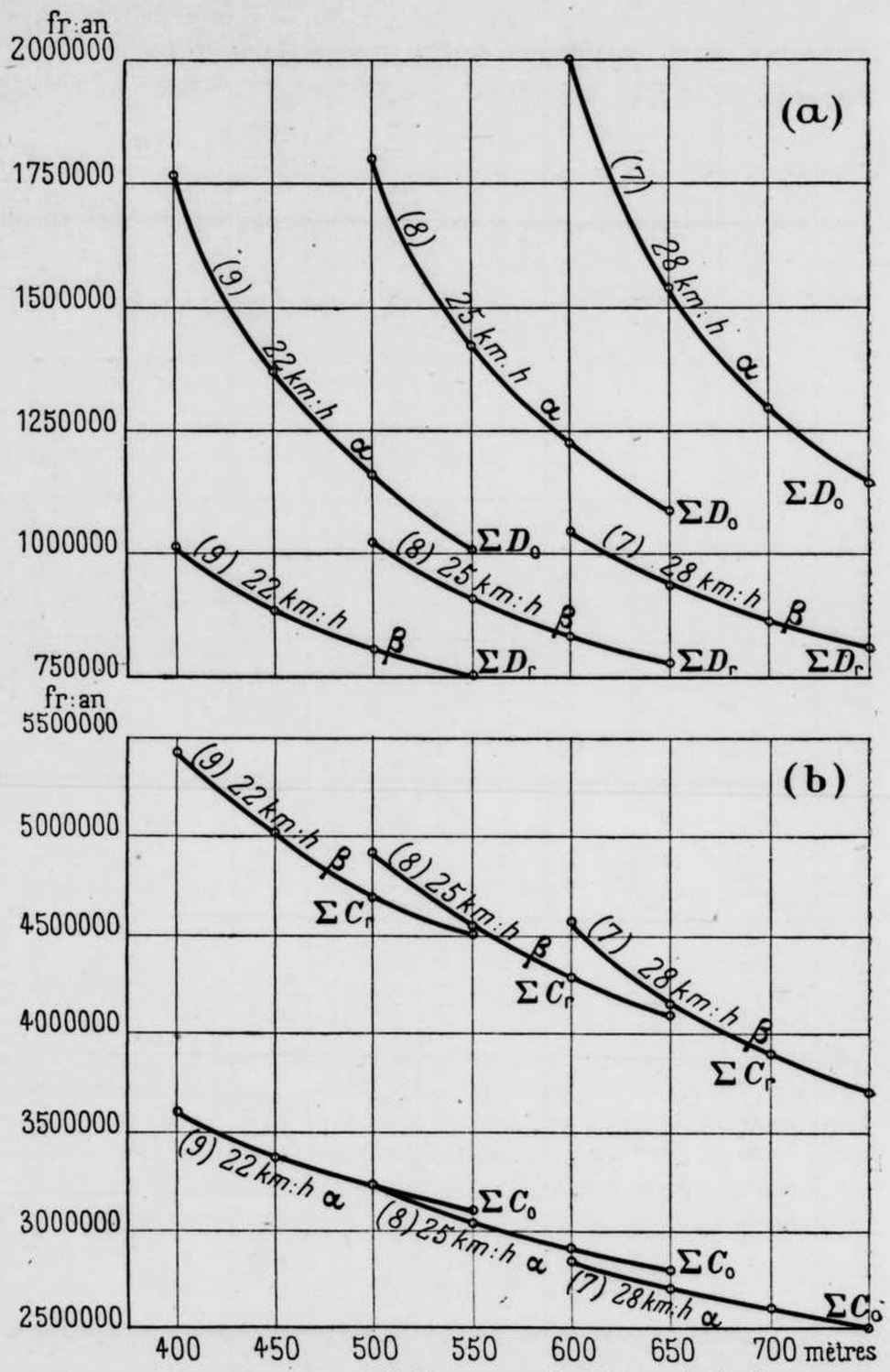


Fig. 9. — Courbes des variations, en fonction de la longueur moyenne des sections et pour diverses valeurs de la vitesse commerciale : a, de la dépense annuelle d'énergie (Σ D) ; b, du coût des équipements, réserve comprise (Σ C), par groupes équivalents de motrices. Les courbes α se rapportent à la traction ordinaire et les courbes β, à la traction à récupération.

saire dans le cas de la traction ordinaire (fig. 8 b). Le tableau montre en outre que : pour $L = 500$ et 550 m, la traction à récupération à 25 km : h demande 11 à 12 pour 100 moins de kilowatts installés que la traction ordinaire à 22 km : h ; pour $L = 600$ et 650 m, la traction à récupération à 28 km : h demande 13 à 15 pour 100 moins de kilowatts que la traction ordinaire à 25 km : h. En même temps que les sous-stations, les lignes de distribution entre ces dernières et les motrices ne seront pas de même importance dans les

deux cas; mais comme il est impossible d'évaluer en général le coût de ces installations dans un cas et dans l'autre, nous ne nous sommes pas attardés sur ce point, qu'il suffira seulement de ne pas oublier.

Les lignes 11 à 16 du tableau III, d'une part, et les lignes 17 à 22, d'autre part, résument les frais d'exploitation des unités dans les deux cas de traction ordinaire et de traction récupérative. Les lignes 11 et 17 comprennent les dépenses annuelles d'énergie, qui figurent déjà aux lignes 5 et 6 du tableau. Les lignes 12 et 18 indiquent l'intérêt, l'amortissement et l'entretien à 13 pour 100 des équipements en marche et en réserve; les lignes 13 et 19 réunissent les résultats des deux lignes précédentes, et pourraient suffire à une comparaison intrinsèque (fig. 10).

Les lignes 14 et 20, identiques, indiquent l'intérêt,

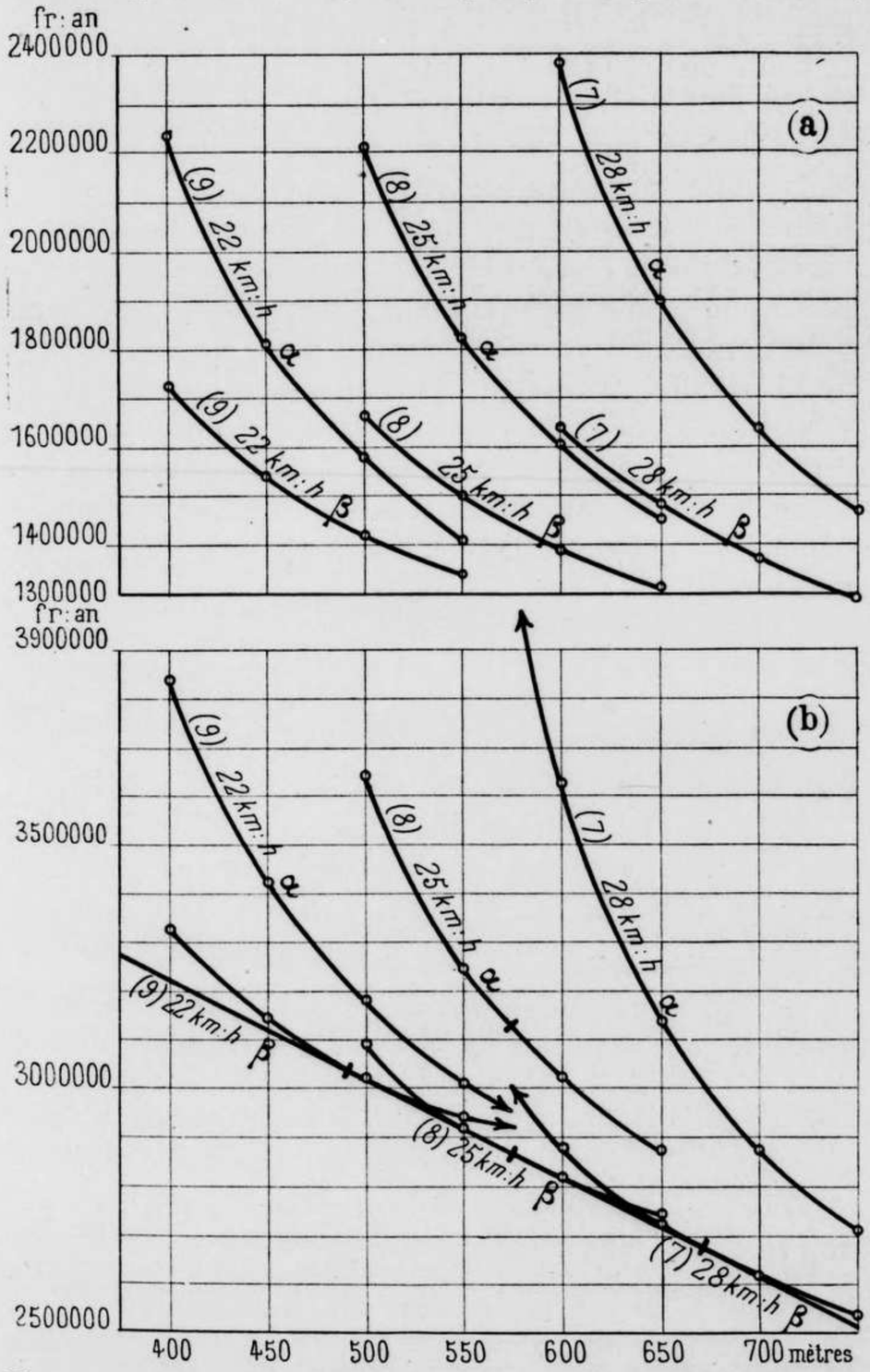


Fig. 10. — Courbes des variations, en fonction de la longueur moyenne des sections et pour diverses valeurs de la vitesse commerciale, des dépenses annuelles d'exploitation : a, des seuls équipements électriques ; b, des motrices complètes, par groupes équivalents de motrices. Les courbes α se rapportent à la traction ordinaire et les courbes β à la traction à récupération.

l'amortissement et l'entretien à 13 pour 100 des voitures en marche et en réserve. Le coût des voitures a été supposé de 330 000 francs français. Les lignes 15 et 21, encore identiques entre elles, donnent les frais d'exploitation des unités en marche : salaires du conducteur du train et des contrôleurs, éclairage, nettoyage, révision, graissage, etc.; en tout environ 84 000 fr par an et par unité de deux voitures. Les lignes 16 et 22 totalisent les résultats des trois lignes précédentes et donnent ainsi les frais totaux de traction. Elles permettent une comparaison plus étendue que les lignes 13 et 19, en ce qui se rapporte à l'influence de la vitesse commerciale à égalité de parcours annuel total et de fréquence des trains (fig. 10 b).

La ligne 23 donne la différence entre les résultats des lignes 5 et 6. La ligne 24 donne la différence entre les résultats des lignes 13 et 19 ou entre ceux des lignes 16 et 22; la ligne 25, la différence entre les résultats des lignes 7 et 8; la ligne 26, donne en centièmes le rapport des économies renseignées par la ligne 24 aux immobilisations supplémentaires renseignées par la ligne 25; elle donne donc la rémunération que ces capitaux supplémentaires demandés par l'application de la récupération reçoivent en plus de l'intérêt compris aux lignes 12, 14, 18, 20, qui précèdent. Cette rémunération supplémentaire vaut naturellement Γ, tel qu'il résulte de la ligne 31 du tableau I, moins 13 pour 100.

2. Résultats moyens pour les douze cas considérés. — Les conséquences du *remplacement total* de la traction ordinaire par la traction à récupération caractérisé par la durée normale de marche des trains de 4 200 heures par an, peuvent être résumées en mettant, pour ainsi dire, les douze cas étudiés « dans un même panier ». On trouve alors que les douze immobilisations supplémentaires forment un total de 18 010 300 francs et que les douze économies annuelles en forment un autre de 6 166 000 francs par an. Il en ressort une valeur moyenne générale de Γ égale à 34,25 pour 100. Ces chiffres se rapportent à $4 \times (9 + 8 + 7) = 96$ unités de train pesant en moyenne 74,8 t chacune, ou bien, si l'on veut, à 48 trains pesant en moyenne 149,6 t chacun, demi-charge comprise. Par train de 150 t environ on a donc, en moyenne, une immobilisation supplémentaire de 375 000 fr et une économie de 128 500 fr par an. En déduisant les frais d'entretien au taux de 4,7 pour 100, il reste un bénéfice de 128 500 — 17 650 = 110 850 francs par an, qui permet d'amortir la dépense supplémentaire en 3,38 ans environ, après quoi il reste disponible, pour majorer un deuxième dividende éventuel, une somme de 110 850 francs par an, pour chaque train que l'on a adapté à la récupération ou de 740 francs par an par tonne (à mi charge) de matériel traîné avec la récupération. Tel est le bilan de l'opération. Quant aux conséquences du *remplacement partiel* de la traction ordinaire par celle à récupération, caractérisé par la possibilité de faire marcher les motrices à récupération plus longtemps que les motrices ordinaires, c'est-à-dire plus de 11,5 heures par jour et plus de 4200 heures par an en moyenne, elles peuvent être résumées de la manière suivante.

Si les motrices à récupération marchent 13, 14, 15, 16 heures par jour, soit 4745, 5110, 5475, 5840 heures par an, le coefficient Γ atteint respectivement les valeurs suivantes : 38,6, 41,6, 44,7, 47,6 pour 100.

A l'immobilisation supplémentaire moyenne, qui continue à être de 375000 fr par train de 150 t à mi-charge, correspond une économie d'énergie de 144800, 156000, 167500, 178500 fr par an.

Si l'on en déduit les frais supplémentaires d'entretien, qui continuent à être de 17650 fr par an en moyenne, on trouve qu'il reste : 127150, 138350, 149850, 160850 fr par an.

Ces annuités permettent d'amortir l'immobilisation supplémentaire respectivement en 2,95, 2,71, 2,50, 2,33 années, après quoi elles fournissent un bénéfice absolu de 850, 920, 1000, 1070 fr par an pour chaque tonne de matériel à mi-charge traîné avec récupération d'énergie.

A ce bénéfice viendra s'ajouter éventuellement celui provenant de la diminution, dans le rapport de 37 pour 100 constaté plus haut, de la puissance active des sous-stations et de la diminution correspondante de l'importance des canalisations électriques qui y aboutissent, ainsi que celui provenant d'une moindre usure de tous les organes mis en jeu dans le freinage mécanique dont l'emploi devient exceptionnel.

Dans les cas de remplacement partiel des équipements ordinaires par des équipements à récupération, l'immobilisation supplémentaire globale est évidemment moindre que dans le cas de remplacement total ; elle est, en outre, mieux rétribuée, chaque équipement pouvant économiser de l'énergie pendant plus de 4200 heures par an. Mais le bénéfice total d'exploitation est moindre, car les équipements ordinaires non remplacés continuent à consommer plus d'énergie qu'il n'est strictement nécessaire.

3. Extension des résultats a différents pays. — Comme les résultats relatifs à une seule unité de train, de même ceux relatifs à une unité de trafic (comprenant plusieurs unités de train) peuvent être adaptés à un pays différent par une transposition basée sur la variation de $(C_r - C_0)$ et de $(D_0 - D_r)$, dénominateur et numérateur de Γ.

Ainsi, pour Buenos-Ayres, on pourra dire qu'en moyenne, pour une durée de marche de 4200 heures par an, on aura, par train de 150 t (y compris moitié de sa charge normale), une immobilisation supplémentaire de $375000 \times 1{,}20 = 450000$ fr français et une économie, en énergie, de $128500 \times 1{,}70 = 218000$ fr par an.

Si on déduit les frais annuels d'entretien, au taux de 4,7 pour 100, soit $448000 \times 0{,}047 = 21200$ fr par an, il reste encore un bénéfice de $218000 - 21200 = 196800$ fr par an, qui permet d'amortir la dépense supplémentaire en 2,28 années environ, après quoi il reste disponible, pour grossir les bénéfices nets de l'entreprise, une annuité de 196800 fr par train de 150 t à mi-charge roulant à récupération, soit un bénéfice net de 1310 fr par tonne et par an.

On trouverait pareillement, dans les cas de traction mixte avec motrices à récupération marchant 13, 14, 15, 16 heures par jour, que l'amortissement du capital supplémentaire engagé dans l'entreprise est réalisé respectivement en 2,00, 1,85, 1,71, 1,60 années, après quoi on réalise un bénéfice absolu de 1500, 1620, 1750, 1880 fr par an pour chaque tonne de matériel mi-charge roulant à récupération.

Ces résultats peuvent être traduits dans l'unité monétaire que l'on veut; ils resteront toujours des résultats très appréciables.

IX. **Augmentation de la vitesse commerciale des trains.** — La figure 10 a montre que, à égalité de parcours total annuel, si l'on considère les seules dépenses d'exploitation relatives aux équipements électriques, la traction à récupération à 25 km : h ne coûte pas plus que la traction ordinaire à 23 km : h et que la traction à récupération à 28 km : h coûte à peine un peu plus que la traction ordinaire à 25 km : h. Mais cette comparaison est imparfaite. En effet, la figure 10 b montre que, dans les mêmes conditions, si l'on considère l'ensemble de toutes les dépenses d'exploitation (matériel roulant, personnel voyageant, manutentions diverses compris) alors que dans le cas de la traction ordinaire ces dépenses augmentent inévitablement avec la vitesse commerciale dans tout le domaine (L, V) qu'il y a lieu de considérer en pratique, dans le cas de la traction à récupération, ces dépenses peuvent même diminuer au lieu d'augmenter.

On peut remarquer, en effet, que les dépenses totales à 22 km : h et à 25 km : h sont sensiblement égales pour $L = 530$ m, et que celles à 25 km : h et à 28 km : h sont sensiblement égales pour $L = 630$ m. Pour des sections plus longues, la vitesse plus élevée coûte moins cher.

Alors que les courbes des dépenses totales relatives à la traction ordinaire n'admettent aucune enveloppe dans le domaine (L, V) qu'il y a lieu de considérer, celles relatives à la traction à récupération admettent, tout au moins dans les conditions de prix adoptées, une enveloppe inférieure, sensiblement rectiligne ; de sorte que, en traction à récupération, il peut exister pour chaque longueur moyenne L des sections une certaine vitesse commerciale V qui occasionne un minimum de dépenses totales :

$L = 490, 575, 670$ m pour $V = 22, 25, 28$ km : h.

Par extrapolation, la même figure 10 b nous apprend que pour $L = 575$ m, les dépenses totales pour $V = 22, 25, 28$ km : h sont : dans le cas de la traction ordinaire, 2960000, 3125000, 4100000 fr par an ; dans le cas de la traction à récupération, 2925000, 2865000, 2 millions 990000 fr par an.

Pour une section moyenne à peine un peu plus longue que 375 m, la traction à récupération à 28 km : h est plus économique que la traction ordinaire à 22 km : h. N'oublions pas que nous avons fait état des seules économies d'énergie et que nous avons négligé toutes autres sources secondaires d'économie.

De toutes ces remarques, il résulte que la traction à récupération est spécialement indiquée pour augmenter la vitesse commerciale des trains de chemins de fer métropolitains.

Il est à noter que les trains urbains souterrains ou aériens ont toujours la voie complètement libre devant eux, même aux heures où règne la plus grande affluence, alors que les tramways et les autobus roulant à la surface rencontrent le plus d'obstacles sur leur chemin précisément aux heures où ils sont le plus demandés.

Il est évident qu'aucun moyen de transport de surface ne peut atteindre une vitesse commerciale de 25 km : h à l'intérieur d'une grande ville — loin de là — alors qu'un chemin de fer souterrain ou aérien convenablement organisé peut atteindre celle de 28 km : h (à moins que la distance entre arrêts consécutifs ne descende au-dessous de 500 m) et battre toutes les concurrences.

Un nouveau coup d'œil aux figures 9 et 10, a et b, montrera bien que ce desideratum ne peut être atteint économiquement qu'avec la traction à récupération, la traction ordinaire devenant tout à fait prohibitive pour les conditions simultanées de petites valeurs de L et de grandes valeurs de V. Dans le cas où l'on a recours à la traction à récupération pour atteindre une vitesse commerciale élevée, une autre circonstance se présente : la réduction des frais totaux d'exploitation dans une limite acceptable passe au second plan par rapport à l'augmentation, non exactement chiffrable à priori, mais néanmoins tout à fait certaine, des recettes.

Nous avons vu que le trafic total réalisé par les différentes combinaisons analysées dans le tableau III se chiffre, à 1 pour 100 près, à environ 200 millions de places-kilomètres par an.

Supposons qu'un voyageur fasse en moyenne un parcours de 5 km avec un billet coûtant en moyenne 1 fr et que le coefficient moyen d'occupation des places offertes, correspondant à une certaine vitesse commerciale, soit de 40 pour 100 ; la recette annuelle correspondant audit trafic serait d'environ (200 000 000 × 0,40 × 1,00) : 5 = 16 000 000 fr. (Cette somme est à mettre en regard avec des dépenses totales annuelles de traction d'environ 3 400 000 fr, en traction ordinaire et 2 900 000 fr, en traction à récupération).

Même une petite augmentation d'une pareille recette annuelle constitue un appoint énorme aux bénéfices distribuables aux actionnaires et autres participants de l'affaire. Et à cet avantage de leur part se joint une plus grande satisfaction de la population desservie !

X. **Possibilités pratiques.** — Nous avons, dans la recherche qui précède, imposé plusieurs obstacles à la traction à récupération :

1° Les courbes des figures 1 et 2, dressées comme nous avons dit par interpolation graphique entre des points déterminés numériquement avec le plus grand souci de ne pas favoriser le mode de traction à récupération, sont certainement moins que favorables à ce mode de traction ;

2° Les prix des équipements à récupération indiqués par la figure 3 sont certainement exagérés ;

3° Les deux diagrammes de cette figure se rapportent à des équipements fournis de moteurs non ventilés. Comme nous l'avons fait remarquer, il est loisible d'adopter à la place de ces derniers des moteurs ventilés, marchant plus rapidement, plus légers et moins coûteux. Dans ce cas, les deux diagrammes se rapprochent entre eux. L'adoption de moteurs ventilés est d'autant plus recommandable que la suppression du freinage mécanique supprime toute production de poussière métallique ou autres pouvant nuire au bon fonctionnement des collecteurs de pareils moteurs ;

4° En passant des consommations d'énergie aux motrices à celles aux sous-stations, l'avantage en faveur de la traction à récupération sera certainement plus élevé que celui que nous avons supposé ;

5° Nous n'avons tenu aucun compte des économies secondaires réalisables dans tous les organes intéressés au freinage mécanique, depuis le compresseur d'air jusqu'aux rails de roulement en passant par les sabots de freinage et les jantes des roues ;

6° Nous n'avons tenu aucun compte de la réduction de la capacité des câbles entre les organes de distribution de l'énergie et les sous-stations, de la puissance de ces sous-stations, des câbles alimentant ces sous-stations, etc.

Pour toutes ces raisons, les résultats pratiques pouvant provenir du remplacement de la traction ordinaire par la traction à récupération seront certainement plus avantageux que ceux trouvés dans la recherche qui précède.

Et il ne faut pas oublier, en outre, que les tableaux II et III ont été dressés sur la base d'un prix du kilowatt-heure à courant continu, plus fréquemment dépassé que non atteint.

Ces belles perspectives devraient raisonnablement suggérer aux exploitants de prendre sérieusement en considération le système de traction à récupération. Les occasions propices à son adoption sont nombreuses :

a) en cas d'augmentation du trafic sur des lignes existantes, on peut ajouter aux trains ordinaires des trains à récupération et les utiliser de manière très avantageuse en coordonnant convenablement la marche des uns et des autres comme nous l'avons dit plus haut ;

b) en cas de mise hors service d'équipements électriques ordinaires usagés ;

c) en cas d'ouverture de nouvelles lignes à l'exploitation ;

d) en cas d'opportunité d'augmenter la vitesse commerciale pour l'emporter sur certaines concurrences, etc.

Si le moindre doute pouvait encore subsister sur les résultats que nous avons exposés, un essai particulier de vérification est bientôt fait. En aucun cas le matériel d'essai n'est totalement perdu pour l'exploitation : les moteurs et une partie de l'appareillage peuvent être réemployés.

Un producteur d'énergie accepte facilement d'ins-

taller dans son usine un dispositif dont un constructeur lui affirme qu'il pourra tirer une économie de 6 ou 5, voire 4 ou 3 pour 100 dans sa consommation de combustible. Pourquoi donc un exploitant de chemin de fer se refuserait-il à essayer deux équipements dont on lui démontre qu'il pourra tirer une économie de 25 ou 30, ou même 35 pour 100 dans sa consommation d'énergie? Peut-il craindre une exagération ? Au lieu des 11 à 14 watts-heures par tonne-kilomètre qui devraient être consommés, la consommation normale est, en fait, quatre fois plus grande, soit 400 pour 100. On vient lui dire qu'il pourra économiser 37,5 pour 100 sur 400, c'est-à-dire 150 pour 100. Si cette prévision est réalisée la consommation sera encore de 250 au lieu de 100. En fait il n'aura économisé que la moitié de l'excès. Peut-on dire raisonnablement que la prévision est excessive?

Evidemment, au point de vue des économies réalisables, tous les systèmes de traction à récupération ne se valent pas. Ne parlons pas des systèmes à secousses, essayés dans certains réseaux de tramways qui auraient pu essayer des systèmes moins désagréables.

On peut démontrer, en toute rigueur, que les systèmes Ward Leonard, S. T. A. R., Seefehlner, etc., exigent des groupes auxiliaires trop importants et obligés de transformer une trop grande fraction de l'énergie que les moteurs doivent absorber au démarrage ou débiter au freinage pour pouvoir réaliser les conditions optima.

Si l'on désigne par 200 la puissance absorbée par l'ensemble des moteurs de l'équipement à la fin du démarrage contrôlé (c'est-à-dire au moment où ces moteurs peuvent commencer à être alimentés directement par le réseau, sans intervention du groupe auxiliaire) ou débitée par eux au commencement du freinage contrôlé (c'est-à-dire au moment où ces moteurs doivent cesser d'être alimentés directement par le réseau et recourir de nouveau à l'intervention du groupe auxiliaire), le groupe simple Ward Leonard doit posséder une puissance fictive globale égale à 231 et transformer une puissance maximum 50 et une puissance moyenne 33,3; les groupes S. T. A. R. et Seefehlner doivent posséder une puissance fictive égale à 158 et transformer une puissance maximum 100 et une puissance moyenne 50; tandis que le groupe A. D. R. doit posséder une puissance globale égale à 115 et transformer une puissance maximum 25 et une puissance moyenne 16,7. Or, c'est la puissance fictive globale de toutes les machines constituant le groupe qui détermine son encombrement, son poids et son prix, ainsi que ses pertes à vide; et c'est la quantité d'énergie à transformer qui détermine ses pertes en charge.

Ces quelques indications suffisent à faire comprendre comment il se fait qu'au moyen du groupe de réglage A. D. R. on puisse obtenir des résultats aussi encourageants que ceux exposés dans cette note.

A. DELLA RICCIA.

Revues, analyses et informations

Les propriétés du permalloy C (1).

1. INTRODUCTION. — Les propriétés magnétiques remarquables des alliages de fer et de nickel contenant plus de 30 pour 100 de nickel ont été découvertes il y a quelques années, aux laboratoires de l'American Telephone and Telegraph Co et de la Western electric Co. Les résultats les plus intéressants ont été obtenus avec les alliages à 80 pour 100 de nickel et ceux-ci, sous le nom de « permalloy », ont été largement employés pour charger les câbles téléphoniques ou télégraphiques ainsi que pour la construction de certains appareils, tels que des relais ou des transformateurs pour courants de fréquence très élevée.

Les recherches poursuivies dans ce domaine, principalement aux laboratoires de Hendon (International Telephone and Telegraph Laboratories) ont abouti à la mise au point d'un alliage de cette série, dit permalloy C, qui, en raison de ses propriétés, est avantageusement utilisé à la place de l'alliage originel dit permalloy A, et même d'un second type qui fut connu plus tard sous le nom de permalloy B.

Le nouvel alliage est, en effet, au point de vue magnétique, le métal le plus doux que l'on connaisse. De plus, sa résistivité est égale à celle des aciers au silicium utilisés dans l'industrie. Enfin, le traitement thermique qu'il doit subir est plus simple que celui qui est nécessaire dans la fabrication des alliages A et B.

Ces qualités se traduisent, en pratique, par les avantages suivants : la matière est obtenue à plus bas prix et les dimensions des appareils construits sont considérablement réduites.

2. PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU NOUVEL ALLIAGE. — Si l'on compare les courbes donnant les caractéristiques magnétiques de cet alliage aux courbes correspondantes de l'acier au silicium, on constate que, tandis que la perméabilité de ce dernier reste sensiblement constante à toutes les fréquences jusqu'à 1 800 p : s, celle du permalloy C est d'abord considérablement plus élevée, puis décroît à mesure que la fréquence augmente. Cette diminution est d'ailleurs d'autant moins rapide que la résistivité du métal est plus élevée. En comparant les courbes correspondant à un cycle magnétique complet; on constate, d'autre part, que l'hystérésis du nouveau métal est bien plus faible que celle de l'acier au silicium. Les pertes par hystérésis pour une induction de 5 000 unités C. G. S. sont, en effet, de l'ordre de 50 ergs par centimètre cube et par cycle, alors qu'elles atteignent, par cycle, 550 ergs : cm³ pour les tôles au silicium et 1 000 ergs : cm³ pour le fer. Le permalloy C présente donc, à ce point de vue, un très sérieux avantage. Le champ coercitif pour l'induction maximum est faible, soit 0,035 gauss au lieu de 0,6 pour l'acier au silicium et 0,8 pour le fer. Pour donner une idée de la valeur élevée de la perméabilité de l'alliage, signalons qu'elle est de 6 000 à la fréquence de 200 p : s (acier au silicium 400 et fer 250) et que sa valeur maximum atteint 100 000 (acier au silicium, 6 500 et fer, 5 000).

(1) *Engineering*, 2 mai 1930, t. CXXIX, p 567, 800 mots, 4 figures.

3. Fabrication. — Le permalloy C est obtenu en fondant ses constituants dans un four électrique à haute fréquence, à renversement. Il peut être laminé en feuilles ou en barres ou encore étiré en fils. Il est seulement nécessaire de le recuire et, bien que cette opération doive, pour réussir entièrement, être effectuée dans des conditions parfaitement déterminées, elle est beaucoup plus facile à réaliser qu'avec les permalloy A et B. Toutefois, comme pour l'acier au silicium, le métal ne doit plus être travaillé après ce traitement thermique, sous peine d'altérer les propriétés magnétiques ; cependant l'assemblage des pièces et le bobinage du fil peuvent être exécutés après coup sans aucun inconvénient.

4. Principales applications. — On espère pouvoir construire, avec cet alliage, des transformateurs permettant des mesures très précises en courant alternatif.

Son emploi pour les appareils à fréquences audibles conduira à réaliser des transformateurs d'un encombrement très réduit. La faible hystérésis de l'alliage rend possible son application dans la construction des appareils de mesure du type dit « à palette de fer doux » donnant des résultats précis aussi bien en courant alternatif qu'en courant continu. Son emploi sera également précieux dans la construction des milliampèremètres et appareils à équipements dynamométriques. Enfin, ses qualités magnétiques le désignent tout particulièrement pour la construction de relais à grande sensibilité et à fonctionnement très rapide. — B. E.

Les installations électriques des ateliers de Southall de l'Associated Equipment Company (1).

1. Introduction. — Ces ateliers situés dans le comté de Middlesex construisent la majeure partie des moteurs et châssis pour les autobus de Londres et de quelques autres villes. Ils couvrent une surface de 34 000 m² et la puissance globale de moteurs électriques installés atteint 3 500 ch.

2. Alimentation en énergie électrique et distribution. — L'énergie électrique est fournie par la North metropolitan electric Power Supply Co, sous forme de courant triphasé à 22 000 v. Cette tension est abaissée à 415 v, au moyen de quatre transformateurs triphasés à bain d'huile, d'une puissance de 833 kv-a dont un sert de réserve. Il y a lieu de signaler la réalisation, sur ces appareils, des connexions aux sorties à basse tension avec une partie flexible formée par des lames de cuivre cintrées sur plat dont le but est d'éviter les pertes de matière isolante aux bornes de sortie en empêchant la transmission des vibrations.

Le tableau principal de distribution comprend 17 panneaux de 200 a pour la force motrice et 12 panneaux de 400 a pour l'éclairage. De chaque panneau de force part un câble de 3,97 cm² de section, qui aboutit à un des 17 coffrets étanches répartis dans les ateliers ; de même de chaque panneau d'éclairage part un câble de 1,6 cm² de section vers l'un des panneaux secondaires de distribution. Ces câbles sont placés dans des conduits souterrains jusqu'à un puits central d'où ils rayonnent dans les directions voulues.

3. Equipement des ateliers. — En vue de maintenir un facteur de puissance convenable, on a prévu divers moteurs autosynchronisés. Trois de ces moteurs, d'une puissance de 120 ch, entraînent des compresseurs d'air, tandis que deux font partie de groupes moteur-générateur de 250 kw chacun, qui fournissent du courant continu pour l'essai en charge des moteurs. Ces deux derniers moteurs sont spécialement bobinés pour la correction du facteur de puissance. Pour la commande des machines-outils on emploie des moteurs à cage d'écureuil, de 30 ch, disposés par groupes de quatre sur les fermes et qui entraînent par courroie des lignes d'arbres. Le démarrage de ces moteurs se fait en étoile-triangle ; ils sont protégés par deux bobines de déclenchement en cas de surcharge et une bobine de déclenchement à manque de tension. Parmi les machines diverses équipant ces ateliers, on peut citer un berceau transporteur sur lequel s'effectue le montage des châssis, entraîné par un moteur de 5 ch, et à la suite duquel est un tambour mû par un moteur de 30 ch qui donne une impulsion au châssis pour l'envoyer hors du transporteur.

Les essais des moteurs à essence sont effectués au moyen de quatre groupes dynamométriques de 120 ch qui renvoient du courant continu à 460 v aux barres générales. Il existe aussi, pour la section des recherches, d'autres groupes dynamométriques dont l'un de 64 kw ayant une variation de vitesse de 1050 à 4000 t : mn. D'autre part, certaines machines-outils spéciales ne sont pas entraînées par le système normal de transmission, mais par commande individuelle à moteur électrique : tel est le cas d'un lapidaire avec plateau magnétique de 0,60 m ; d'une machine à percer « Archdale » équipée avec cinq moteurs dont quatre pour la commande des mèches et un pour le mouvement de la table ; d'une machine à meuler verticale munie d'un plateau magnétique de 1,80 m et dont la meule est entraînée par un moteur de 60 ch à arbre vertical. On peut citer également une enfourneuse Wellman-Smith affectant l'allure générale d'un pont roulant, qui dessert les fours à cémenter, et un système automatique électrique de réglage de la température des fours pour traitement thermique.

Enfin l'éclairage des bureaux et ateliers a reçu aussi une attention spéciale. Les premiers sont éclairés au moyen d'appareils Siemens « Lucette » munis de lampes de 150 w, tandis que, pour les ateliers, on a employé des appareils « Benjamin R L M » munis des mêmes lampes, soit en tout 1 500 appareils. Le réseau d'éclairage est établi avec des prises espacées de 2,50 m environ l'une de l'autre. — J. S.

(1) *The electrical Review*, 2 mai 1930, t. cvi, p. 813-818, 1 500 mots, 15 figures.

Essais des relais sélectifs Brown Boveri dans un réseau en service normal (1).

1. Introduction. — En mai 1929 la Bayenwerk Aktien-Gesellschaft décida d'effectuer sur son réseau à 110 kv une série d'essais en service normal sur des relais à réactance Brown Boveri nouvellement installés en cherchant à reproduire fidèlement tous les cas de perturbation connus.

Ces relais, destinés à la protection sélective du réseau, doivent satisfaire aux conditions suivantes : 1° lors d'un court-circuit quelconque, les relais doivent mettre hors service le tronçon de ligne défectueux, la fermeture du contact de déclenchement devant avoir lieu deux à trois secondes au maximum, après le début du court circuit ; 2° en cas d'une double mise à la terre, il doit couper une seule des lignes mises à la terre, l'autre arc devant être étouffé par les bobines d'extinction ; 3° ils doivent assurer la sélectivité, en particulier en cas de court-circuit sur un départ d'une sous-station, cas où n'intervient que la résistance de l'arc pour déterminer le sens de circulation de la puissance. Enfin ces trois conditions doivent être remplies pour toutes valeurs du courant de court-circuit, depuis le tiers du courant normal jusqu'aux plus fortes valeurs susceptibles d'être atteintes.

(1) A. Matthey-Doret et J. Stoecklin. *Revue Brown Boveri*, mars 1930, t. xvii, p. 99-108, 2 500 mots, 16 figures.

2. Résultats des essais. — La temporisation fut réglée au moyen des transformateurs auxiliaires de telle sorte que, lors d'un court-circuit en bout de ligne, cette dernière soit mise hors circuit après 0,5 seconde du côté du défaut et après 0,5 + 1,1 ou 0,5 + 1,3 seconde à l'autre extrémité. Le temps de 0,5 seconde représente le retard additionnel constant pour tous les relais; les temps de 1,1 et 1,3 seconde furent déterminés, suivant les cas, d'après les temps propres de déclenchement des disjoncteurs.

Les essais comportèrent 3 courts-circuits triphasés par arc, 4 courts-circuits diphasés (3 par arc et 1 franc), 6 doubles mises à la terre (2 avec une mise à la terre franche et une mise à la terre par arc, 3 avec les deux mises à la terre par arc, 1 avec deux mises à la terre franches).

Dans tous les cas la sélectivité fut correctement assurée. Les durées concernant les 26 déclenchements (2 par accident) furent les suivants :

Temps de déclenchement : moyen, 0,5 + 0,72 = 1,22 s; minimum, 0,5 + 0,1 = 0,6 s; maximum, 0,5 + 1,8 = 2,3 s.

Il est à noter que ces temps ont été influencés par les durées propres de fonctionnement des disjoncteurs.

La division de la longueur du tronçon de ligne défectueux dans le rapport des indications de ses deux relais permet de situer le lieu du défaut. L'erreur maximum a été de 21 pour 100 de la longueur du tronçon et l'erreur minimum, de 4 pour 100 (cas des doubles mises à la terre).

La valeur de l'intensité du courant maximum fut de cinq fois celle du courant normal et celle de l'intensité de courant minimum, 0,23 fois celle du courant normal.

Les auteurs font remarquer qu'en aucun cas on n'a pu constater une influence des harmoniques sur le fonctionnement des relais. — M. R.

Expériences relatives à la propagation d'ondes engendrées par surtensions artificielles sur des lignes de transmission d'énergie (1).

1. Introduction. — En mai 1929 la General electric Company et la Consumers Power Company commencèrent conjointement des recherches relatives aux effets sur les lignes aériennes des ondes telles que celles qui sont propagées par les coups de foudre. Pour ces expériences, on choisit la ligne triphasée établie entre Croton Dam et Grand Rapids (la première construite pour 110 kv). Cette ligne mesure 45 miles de longueur (72,5 km environ) et ne comporte pas de fil de terre ni de transposition de conducteurs.

Le générateur d'ondes pulsatoires, susceptible de fournir une tension de 1 million de volts, comportait 40 éléments chargés en parallèle à 25 kv et déchargés en série suivant le montage de Marx. La plupart des mesures furent exécutées à l'aide d'un éclateur à sphères.

2. Résultats des essais. — L'amortissement, entendu comme atténuation de la valeur de crête de l'onde de tension, quelles que soient ses modifications de forme, dépendait surtout des pertes par effluves, apparaissant dès que le gradient du potentiel dépassait la valeur critique.

La multiplicité des conducteurs parallèles diminuant leur capacité par rapport à la terre en raison de la présence sur chacun d'eux de charges de même signe, le gradient du potentiel est moindre, ainsi que les pertes par effluves. Il en résulte un amortissement plus faible sur une ligne à plusieurs conducteurs transmettant la même surtension, que sur une ligne à conducteur unique, ainsi qu'on l'a vérifié. L'importance du sens des pulsations, de la longueur des ondes et de l'influence du fil de terre fut également étudiée

Pour les pulsations positives les pertes par effluves étaient généralement plus élevées, mais à un faible degré. Les ondes courtes, telles que celles coupées sur le front par un amorçage aux isolateurs, s'amortissaient plus rapidement que les ondes plus longues. La présence d'un fil de terre réduisait l'amortissement, mais beaucoup plus pour les ondes négatives. Cependant, la théorie de la réduction de potentiels induits due aux fils de terre fut vérifiée. Toutefois, leur intérêt n'est prononcé que s'ils sont placés au lieu même de production du coup de foudre. Enfin les essais semblèrent démontrer que l'amortissement est plus grand pour des mises à la terre de faibles et égales résistances réparties régulièrement le long de la ligne que pour des résistances de valeurs trop dissemblables. — M. R.

(1) K.-B. McEachron, J.-G. Hemstreet et W.-J. Rudge. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mai 1930, t. xlix, p. 377-381, 2 500 mots, 5 figures, 1 tableau.

Dispositifs de garde munis de fusibles (1).

L'usage de fusibles conjointement aux anneaux de garde et cornes d'amorçage fut d'abord essayé, en 1927, sur deux circuits d'une ligne de transmission d'énergie de la Union Gaz and electric Company. Ce dispositif initial était constitué par des cornes ordinaires combinées à un anneau de garde séparé de la ligne au moyen de deux éléments de la chaîne. Ces derniers étaient shuntés par l'intermédiaire d'un fusible au tétrachlorure de carbone. Dans le cas d'un amorçage sur la chaîne, le fusible sautait et l'arc s'éteignait du fait de l'introduction de deux éléments supplémentaires. Le phénomène était généralement assez rapide pour éviter les disjonctions et le dispositif étant ménagé sur des chaînes d'isolateurs à plus faible isolement en des points bien déterminés, des arcs à la terre s'y amorçaient de préférence.

Mais l'obligation de maintenir deux éléments de chaîne supplémentaires rendait le système peu économique. On fut donc amené à la suppression de ces derniers en disposant l'anneau de garde à sa place ordinaire au bas de la chaîne et en remplaçant les cornes d'amorçage par deux fusibles du type à expulsion. Les résultats obtenus furent excellents et avaient, de plus, l'avantage de ne pas nécessiter le remplacement des fusibles à chaque amorçage, ceux-ci ne se produisant que rarement sur les deux cornes à la fois. Mais il fut constaté que la distance d'amorçage entre anneau et fusibles ne devait pas excéder 80 pour 100 de celle de la chaîne sans anneau ni cornes.

D'autre part, les essais effectués montrèrent qu'un courant de 200 A dans l'arc était un minimum pour un fonctionnement assez rapide du système. La limite supérieure du courant de court-circuit n'a pas encore été déterminée; mais des essais ont été effectués avec succès pour des intensités de courant allant jusqu'à 5 120 A.

La tendance actuelle étant de renforcer l'isolation des lignes sauf aux extrémités ou aux entrées de postes où elle n'est pas supérieure à celle de l'appareillage, ces dispositifs de garde à fusibles peuvent avantageusement être placés en ces points. Pour éviter le renouvellement trop fréquent des fusibles, ceux-ci peuvent être montés en combinaison avec quatre cornes. — M. R.

(1) H.-H. Frey et E.-M. Skipper. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mai 1930, t. xlix, p. 393-396, 2 800 mots, 4 figures, 2 tableaux.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 9 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 330 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 173, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements suivants :

La progression des bénéfices que faisaient apparaître les comptes du précédent exercice s'est heureusement maintenue en 1929, bien qu'il n'y ait à faire état d'aucun dividende relatif aux actions de la Société générale de Constructions électriques et mécaniques Als-Thom, qui a seulement versé le montant de ses redevances contractuelles.

Le compte profits et pertes de l'exercice 1929 se solde par un bénéfice net de 23 231 764 fr contre 21 584 010 fr en 1928, et, compte tenu des reports des exercices antérieurs, laisse disponible 28 302 809 fr, contre 27 700 726 fr l'année précédente (1).

Au cours de cette année, la compagnie a adapté ses services à la nouvelle organisation, achevé la livraison des commandes prises antérieurement à la création de l'Als-Thom, développé ses fabrications et ses ventes, qui se présentent en augmentation sensible dans le domaine industriel dont elle s'est réservé l'exploitation par le jeu des accords avec ses sociétés associées, poursuivi enfin l'aménagement de ses ententes et l'extension de la politique générale d'organisation industrielle, qui reste toujours au premier plan de ses préoccupations.

L'importance croissante de son département de signaux et enclenchements l'a amenée à transférer ses ateliers de l'usine de la rue Lecourbe, maintenant à peine suffisants pour l'activité de l'Als-Thom, dans les bâtiments qu'elle possède au voisinage de cette usine, rue de Lourmel. Les nouveaux ateliers, efficacement aménagés et outillés, permettront le développement des fabrications, non seulement en ce qui concerne les postes d'enclenchement, qui constituent actuellement le principal de leur activité, mais aussi pour les installations de block automatique, dès que les compagnies de chemins de fer auront reçu les autorisations ministérielles nécessaires pour la transformation de la signalisation de leurs lignes à grand trafic.

Le département de fils et câbles et celui de l'usine de piles ont enregistré une progression sensible de leurs affaires.

Le haut patronage artistique que la compagnie a pu réunir pour le contrôle musical de ses phonographes électriques lui a permis de les maintenir au tout premier rang des machines parlantes et de leur assurer des qualités de reproduction orchestrale remarquables, jugées proches de la perfection par les musiciens des plus avertis. Les résultats bénéficiaires de ce département ont été encourageants et incitent à le développer.

Le premier exercice social de l'Als-Thom, d'une durée exceptionnelle de dix-huit mois, a pris fin le 31 mars dernier. Il faut attendre encore quelque temps pour en connaître les résultats définitifs. On peut pourtant déjà annoncer qu'ils seront satisfaisants. Au cours de cette période l'Als-Thom a largement dépassé le chiffre d'affaires prévu en 1928. Elle a affirmé sa maîtrise en amorçant utilement le regroupement et la normalisation des fabrications dans les différentes usines qui lui ont été remises à bail par les sociétés fondatrices. Des sommes très importantes ont été consacrées au développement et au perfectionnement de l'outillage, et elle obtient dès à présent, grâce à d'heureuses dispositions, un rendement nettement amélioré de la main-d'œuvre et des installations, Elle a enfin mené parallèlement le fusionnement et la simplification tant de ses services techniques que de ses services de vente, en donnant une homogénéité déjà remarquable à l'ensemble.

Dans le courant du dernier exercice, la Compagnie des Lampes a procédé à une augmentation de capital de 60 à 70 millions de francs qui avait pour objet à la fois de développer ses moyens financiers parallèlement à l'extension continue de ses affaires et de réaliser l'absorption, par voie d'apport-fusion, de deux importantes fabriques de lampes. Ces fusions sont une étape de plus dans le programme de concentration et de rationalisation de l'industrie des lampes, qui a été la base même de la constitution de cette société, Les bénéfices de l'exercice ont marqué un nouveau et très sensible progrès.

La Société financière électrique, dont le capital social a été porté de 85 à 154 millions de francs, a largement étendu son activité. Elle a pris une participation importante dans l'Union financière pour l'Industrie électrique, qui groupe les principales sociétés de distribution de la région parisienne, en même temps que l'Union financière prenait elle-même une participation de même importance dans la Société financière électrique. D'autre part, en collaboration avec des groupes industriels de tout premier plan, la Société financière électrique a participé à la création d'une nouvelle société, dite Union pour l'Industrie et l'Electricité. Celle-ci a pour objet principal l'exécution d'un large programme de concentration industrielle dans le domaine de la production et de la transmission de l'énergie électrique. La Société financière électrique a distribué l'an dernier un dividende de 8 pour 100. Son dernier exercice, qui s'est terminé le 30 juin, se présente d'une manière favorable.

La Compagnie lorraine de Charbons pour l'Electricité a encore accentué le développement de ses affaires en France et à l'étranger. Son dividende, qui avait été porté l'an dernier à 18 pour 100, sera très probablement maintenu.

La Porcelainerie de Lesquin a poursuivi le perfectionnement de ses fabrications, notamment des isolateurs à haute tension, dont la qualité peut être comparée à celle des grandes sociétés américaines qui lui donnent leur assistance technique. Son chiffre d'affaires s'est également accru.

La Société belge d'Electricité et de Mécanique a consolidé

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 7 septembre 1929, t. XXVI, p, 381.

sa situation, qui est maintenant satisfaisante à la fois dans le domaine de la construction mécanique, moteurs Diesel, et dans le domaine constamment élargi de la construction du matériel électrique. Les deux départements sont largement bénéficiaires et le conseil proposera la répartition d'un dividende de 8 pour 100.

Le chiffre d'affaires de la Sociedad iberica de Construcciones electricas, en Espagne et en Portugal, se présente en augmentation sensible. Avec le concours de l'Als-Thom, de l'International general electric Company et d'importantes firmes espagnoles, elle a créé la General electrica espanola pour la construction, à Bilbao, de matériel destiné à l'électrification des chemins de fer.

Le dividende des Etablissements Gaiffe-Gallot et Pilon a été porté, pour l'exercice 1928, à 6 pour 100. Leur chiffre d'affaires pour cet exercice est satisfaisant et leurs bénéfices semblent devoir être en sensible progression.

La date de l'assemblée ayant pu être notablement avancée cette année, il n'a pas été possible de donner les précisions habituelles sur les résultats obtenus par les autres sociétés auxquelles la compagnie est intéressée. On peut pourtant indiquer d'une façon générale que la situation de ces affaires est satisfaisante et n'appelle pas de remarque particulière.

La comparaison du bilan avec celui de l'exercice précédent fait apparaître les différences suivantes :

A l'actif, les comptes d'immobilisations sont en augmentation de 23 000 fr, pour les terrains, de 3 204 968,75 fr pour les constructions et bâtiments, et de 4 919 996,72 fr pour le matériel, outillage et installations.

Les comptes matières premières, matériel en magasin, travaux en cours, s'élèvent à 29 564 435,51 fr.

Les chapitres titres en portefeuille et participations se présentent pour : 281 831 358,14 fr contre 273 601 997,75 fr, soit en augmentation de 8 229 360,39 fr.

En ce qui concerne les estimations des titres en portefeuille et des participations, elles ont été faites avec prudence. En aucun cas, les évaluations des titres cotés en bourse ne dépassent les cours au 31 décembre 1929. Pour les titres non cotés on a, comme les années précédentes, tenu compte avec beaucoup de modération de la situation des sociétés correspondantes.

Les comptes caisse et banques sont en augmentation de 5 365 956,39 fr.

Les débiteurs divers dont le montant est de 45 millions 383 237,82 fr sont en diminution de 39 626 950,70 fr.

Au passif, l'augmentation de capital de 300 à 330 millions de francs est entrée en compte à partir du 10 décembre 1929, date de la clôture de la souscription aux 300 000 actions B. Le poste actionnaire, figurant à l'actif, soit 22 500 000 fr représente les trois quarts non encore versés au 31 décembre 1929 sur l'augmentation de capital.

Le compte obligations a été diminué de 6 580 004,50 fr représentant le total des titres amortis pendant l'exercice.

La prime sur augmentation de capital, de 3 380 275,65 fr, représente le solde au 31 décembre 1929 du compte ouvert suivant la première résolution de l'assemblée générale extraordinaire du 24 octobre 1929.

La réserve statutaire a été augmentée de 1 079 200,53 fr pris sur les bénéfices de l'exercice 1928.

La réserve spéciale est maintenue à 15 000 000 fr, tandis que la réserve d'amortissement des constructions, matériel et outillage, a passé de 78 millions de francs à 81 millions de francs, par suite de l'affectation de 3 millions de francs, pris sur les bénéfices de l'exercice 1928.

Les effets à payer sont en diminution de 28 554 468,55 fr et les comptes fournisseurs et créditeurs divers de 18 millions 490 163,58 fr.

Du rapprochement des différents postes ressort une liquidité satisfaisante du bilan, sans qu'il soit pour cela nécessaire de faire état du portefeuille.

Le compte profits et pertes est caractérisé par une réduction des bénéfices bruts et par une réduction plus importante encore des différentes charges, laissant finalement un bénéfice net en plus-value. C'est ce qui avait été espéré lors de la constitution de la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom).

La décomposition de ce compte se présente comme suit :

Les bénéfices bruts de l'exercice provenant des bénéfices sur entreprises, constructions et ventes, revenu du portefeuille et des participations, redevances sur brevets et divers, se sont élevés, après déduction des amortissements nécessaires, à 44 431 097,11 fr.

Les charges comprennent : les taxes fiscales et impôts divers, 4 336 477,46 fr ; les intérêts et primes sur obligations, 6 265 345,97 fr ; les intérêts, escomptes et agios, 5 587 241,28 fr ; les frais généraux, frais d'administration et frais judiciaires, 4 624 376,22 fr.

Ce total s'élevant à 20 813 440,93 fr laisse disponible 23 617 656,18 fr. Il y a lieu d'en déduire les amortissements ci-après : mobilier et installations, 54 342,95 fr : frais d'études, de brevets et divers, 331 549,15 fr. Ceci laisse un bénéfice net de 23 231 764,08 fr.

Il est affecté à la réserve d'amortissement des constructions, matériel et outillage, une somme de 3 millions de francs, qui doit être considérée comme suffisante, étant donné que les amortissements seront grossis à partir du 1er octobre 1932 par des versements de l'Als-Thom pour les installations qui lui ont été données à bail.

Il reste une somme de 20 231 764,08 fr sur laquelle le prélèvement de 5 pour 100 en faveur de la réserve légale est de 1 011 588,20 fr.

Le solde de 19 220 175,88 fr auquel vient s'ajouter le report de l'exerciee 1928, soit 5 071 045,21 fr laisse un total disponible de 24 291 221,09 fr.

La répartition est effectuée comme il suit : intérêt de 5 pour 100 aux 600 000 actions A, soit 25 fr par action, 15 000 000 fr ; 10 pour 100 au conseil d'administration sur le surplus, après déduction du report de l'exercice 1928 de 5 071 045,21 fr, soit sur 4 220 175,88 fr, 422 017,59 fr ; dividende supplémentaire de 1 pour 100, soit 5 fr pour chacune des 600 000 actions A, en plus de l'intérêt de 5 pour 100, 3 000 000 fr,

Le solde, soit 5 869 203,50 fr est reporté à nouveau.

Le dividende de 30 fr par titre pour les 600 000 actions A sera payable à partir du 15 juillet, sous déduction des impôts. Les actions B ne participeront aux bénéfices qu'à dater du 1er janvier 1930.

Après l'assemblée générale ordinaire a eu lieu une assemblée générale extraordinaire qui a décidé d'augmenter le capital, en une ou plusieurs fois, jusqu'à concurrence de 220 millions de francs, afin de porter le capital social à 550 millions de francs. L'émission comprendra 400 000 actions A au nominal de 500 fr et 200 000 actions C au nominal de 100 fr, toutes à souscrire en numéraire et avec primes.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Apports.....	1 »
Frais de constitution et d'installation.	1 »
A reporter....	2 »

Report...		2 »
Mobilier		1 »
Modèles, dessins industriels, études, brevets, etc.		1 »
Actions société immobilière Haussmann-Roule (immeuble du siège)	4 857 000	»
Terrains	11 861 978,50	
Constructions et bâtiments	84 479 749,83	
Matériel, outillage et installations	142 431 796,69	
Matières, pièces finies, travaux en cours	29 564 435,51	
Titres en portefeuille, participations	281 831 358,14	
Rentes françaises et bons de la Défense nationale	92 814.10	
Actionnaires	22 500 000	»
Caisse et banques	14 795 667,51	
Effets à recevoir	924 557,75	
Dépôts et cautions	698 691, 6	
Débiteurs divers	45 383 237,82	
Comptes d'ordre	1 628 319,37	
	641 049 610,48	

Passif.

	fr
Capital	330 000 000 »
Obligations	80 194 791,50
Réserve statutaire	15 884 946,34
Réserve spéciale	15 000 000 »
Réserve d'amortissement des constructions, matériel et outillage	81 000 000 »
Réserve pour accidents du travail et pensions de guerre	1 058 610,84
Prime sur augmentation de capital	3 380 275,65
Effets à payer	25 568 293,73
Coupons à payer et obligations à rembourser	6 304 772,24
Fournisseurs	7 790 353,85
Créditeurs divers	44 599 719,71
Comptes d'ordre	1 965 037,33
Profits et pertes	28 302 809,29
	641 049 610,48

Société de Distribution d'Electricité de l'Ouest.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 15 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital-actions de 50 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 21, place de la Madeleine, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'électrification des campagnes se poursuit activement dans la région desservie; la société a mis en service cette année les réseaux de 68 communes dans le secteur de Segré, 28 dans le secteur de Couterne et 31 dans le secteur d'Aube, ce qui porte à 419 le nombre de communes directement desservies.

Par la construction de la ligne Flers-Dromfront, la société a achevé la réalisation d'une boucle à 30 000 v dans la partie ouest de l'Orne, ce qui a accru la sécurité de l'exploitation et a permis d'arrêter pendant une partie de l'année l'usine de Couterne.

A la fin de l'exercice, la longueur des réseaux exploités était de 2 712 km de lignes à haute tension et de 1 566 km de réseaux à basse tension.

Le développement de la clientèle s'est heureusement poursuivi; d'une part, d'importants contrats de vente en haute tension ont été conclus, notamment avec les mines de fer de l'Orne; la mise en exploitation progressive de ces mines permet d'envisager une intéressante progression des ventes dans ce secteur; d'autre part, grâce à l'activité des services de propagande, les abonnements pour l'éclairage et les applications domestiques, agricoles ou industrielles à basse tension ont entraîné un fort accroissement des ventes; le nombre des abonnés en basse tension est passé de 29 394 à fin 1928 à 37 362 à fin 1929.

Les sociétés, dans lesquelles la société dont nous nous occupons est intéressée, ont poursuivi leur développement normal :

L'Union électrique de l'Ouest a commandé le matériel destiné à de nouvelles installations, en raison de l'extension des besoins auxquels l'usine de Caen doit faire face.

Les travaux d'extension de l'usine électrique d'Angers, appartenant à la Société auxiliaire d'Energie électrique, se sont normalement poursuivis.

La Compagnie d'Electricité d'Angers et Extensions a enregistré des résultats intéressants; le nombre d'abonnés dans cette ville, alimentée depuis près de trente ans en énergie électrique, s'est encore accru de 1 907 unités.

L'Energie électrique Maine-Anjou a continué les pourparlers entamés avec le département de la Sarthe en vue de distribuer l'électricité dans les communes non encore électrifiées; elle a été chargée par le conseil général, dans sa session de janvier 1930, de l'exécution d'un important programme d'électrification. D'autre part, le développement de ses exploitations antérieures lui a permis, pour la première fois depuis sa création, de distribuer un dividende, qui a été fixé à 3 pour 100.

Le produit de l'exercice s'est élevé à 19 205 373,01 fr en augmentation de 786 397,14 fr sur celui de l'exercice précédent (1).

A ce produit, il y a lieu d'ajouter le revenu du portefeuille, soit 2 239 134,87 fr.

Après déduction des charges financières, frais généraux, dépréciations, amortissements et prélèvements pour le renouvellement du matériel, le bénéfice ressort à 7 millions 287 171,66 fr, qui est réparti comme il suit : réserve légale, 364 358,55 fr; intérêt statutaire 5 pour 100 sur 50 000 000 fr, 2 500 000 fr.

Sur la différence de 4 422 813,11 fr il revient au conseil d'administration 10 pour 100, soit 442 281,31 fr.

Il reste une somme de 3 980 531,80 fr à laquelle s'ajoute le report de l'exercice précédent, soit 519 219,20 fr formant un total de 4 499 751 fr.

Il est prélevé sur ce solde une somme de 4 000 000 fr pour répartir aux actions un dividende complémentaire de 8 pour 100.

Le solde, soit 499 751 fr est reporté à l'exercice en cours.

Le dividende est ainsi de 32,50 fr; il est mis en paiement à dater du 30 juin 1930, sous déduction des impôts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Usines	21 992 126,54
Réseaux	51 078 916,29
Mobilier	1 »
Primes de remboursement des obligations 6 pour 100	115 770 »
Primes de remboursement des obligations 6,5 pour 100	663 772,50
Frais d'émission des obligations	1 »
Frais d'augmentation de capital	975 000 »
Caisses et banques	3 412 513,01
Magasins	4 036 467,14
Portefeuille	38 587 751,92
Droits fiscaux à récupérer	889 917,99
Débiteurs divers	27 733 252,77
	149 485 490,16

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 24 août 1929, t. XXVI, p. 302.

Passif.

	fr
Capital	50 000 000 »
Obligations 6 pour 100	8 146 500 »
Obligations 6,5 pour 100	14 750 500 »
Réserve légale	989 753,30
Primes d'émission	2 152 567,55
Comptes d'amortissements	34 489 407,59
Avances sur consommation	1 311 138,40
Participations	11 317 480,09
Fonds de renouvellement du matériel	3 000 000 »
Créditeurs divers	15 521 752,37
Report de l'exercice précédent	519 219,20
Résultats de l'exercice	7 287 171,66
	149 485 490,16

Forces motrices de la Sélune.

Assemblée générale ordinaire du 12 mai 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 18 millions de francs et dont le siège social est à Avranches, 11, place d'Estouville, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Malgré la sécheresse exceptionnelle qui a caractérisé l'année 1929, l'exploitation s'est poursuivie de façon satisfaisante. Grâce au développement des ventes, les débuts du présent exercice accusent une intéressante progression sur la période correspondante de l'exercice écoulé. C'est là une nouvelle preuve de la vitalité de l'affaire, ce qui permet d'escompter des résultats très intéressants quand la société disposera de la totalité de ses moyens de production.

Les travaux d'aménagement de la chute de Vezins ont débuté en janvier 1929 par l'installation du chantier. L'exécution proprement dite du barrage a commencé vers le mois d'avril. A la fin de décembre, la dérivation de la Sélune était exécutée et l'on attaquait la construction des contreforts et de l'usine dans le lit de la rivière. L'état d'avancement des travaux permet d'espérer que l'achèvement pourra avoir lieu dans le second trimestre de 1931.

La construction de la ligne à 65 000 v, de Vezins à Saint-Lô, a été achevée dans les derniers jours du mois de décembre. Il a été procédé ensuite au finissage et à la révision du montage.

La ligne à 30 000 v construite en bordure du réservoir de La Roche-qui-Boit a été terminée en temps voulu pour fournir l'énergie nécessaire au chantier de Vezins.

Les échanges d'énergie avec l'Union électrique de l'Ouest, à Caen, ont commencé le 1er juillet 1929, par l'intermédiaire du poste d'Agneaux, et des lignes Saint-Lô-Granville, Saint-Lô-Avranches, de l'Electrique de Normandie, lignes dont il sera fait usage jusqu'à la mise en service de la ligne Vezins-Saint-Lô.

Les achats d'énergie à la Société de Distribution d'Electricité de l'Ouest ont cessé à cette même date et la société dont nous nous occupons à acheté à cette dernière société, le tronçon de ligne à 30 000 v de Mortain, à la limite de l'Orne, ainsi que les concessions de Barenton et de Saint-Georges-de-Rouelley, alimentées par cette ligne.

La Société Forces motrices de la Sélune poursuit ses efforts pour développer dans les secteurs qu'elle dessert la consommation d'énergie sous toutes ses formes et y parvient en améliorant la distribution et en ne limitant plus les abonnés dans la puissance dont ils ont besoin.

Le bilan présente sur celui au 31 décembre 1928 une augmentation de 879 725,78 fr.

Le produit net d'exploitation du dernier exercice est de 2 374 803,67 fr contre 2 067 997,54 fr pour l'exercice précédent, soit une augmentation de 306 806,13 fr. Il est constitué uniquement par l'exploitation de l'usine de La Roche-qui-Boit.

Il y a lieu d'en déduire les frais généraux, les charges financières et les impôts afférents aux ouvrages en exploitation, dont l'ensemble s'élève à 955 338,81 fr.

Le bénéfice brut s'élève en conséquence à 1 419 464,86 fr. Déduction faite des amortissements s'élevant à 825 899,25 fr, il reste un bénéfice net de 593 565,61 fr, supérieur de 402 395,47 fr à celui de l'exercice 1928.

Ce solde est réparti de la façon suivante : 5 pour 100 de 593 565,61 fr à la réserve légale, soit 29 678,28 fr; aux actions A numérotées de 1 à 6 000, 25 fr par action, soit 150 000 fr; aux actions A numérotées de 6 001 à 30 000 sur 11 539 actions libérées à la souscription, 25 fr par titre, soit 288 475 fr; sur 12 461 actions libérées postérieurement à la souscription, 6,25 fr par titre, soit 77 881,25 fr ; aux 6 000 actions P libérées d'un quart, 5 fr, soit 30 000 fr.

Il reste une somme de 17 531,08 fr qui est reportée à nouveau. Un acompte de 18,75 fr ayant été versé le 1er janvier 1930, il revient uniformément aux 30 000 actions A une somme de 6,25 fr par titre et aux 6 000 actions P une somme de 5 fr par titre, sous déduction des impôts.

Bilan au 31 décembre 1929.

Actif.

	fr
Actionnaires	2 250 000 »
Frais de constitution et d'augmentation de capital	1 351 441,23
Frais d'émission et primes de remboursement des obligations	2 231 318,73
Usines et réseaux	30 677 089,18
Siège social, maisons ouvrières, immeubles divers	1 576 796,30
Cautionnements	86 999 »
Mobilier et outillage	478 472,59
Matériel en location	497 879,34
Approvisionnements	1 163 333,30
Débiteurs divers	1 531 677,34
Portefeuille et participations	121 200 »
Caisses, banques et reports	11 397 719,75
Compte d'ordre	113 046,90
	53 476 973,66

Passif.

	fr
Capital :	
Actions A	15 000 000 »
Actions P	3 000 000 »
Obligations 1921	5 676 000 »
Id. 1926	2 944 500 »
Id. 1928	21 000 000 »
Réserve légale	63 131,52
Fonds d'amortissement	3 552 111,70
Fonds de renouvellement	102 957,20
Subventions	270 000 »
Avances sur consommations	104 525,50
Créditeurs divers	300 857,71
Intérêts courus sur obligations	513 660 »
Coupons échus à payer	131 854,13
Obligations amorties à rembourser	40 000 »
Compte d'ordre	183 810,29
Profits et pertes. Bénéfice net de l'exercice	593 565,61
	53 476 973,66

SECTION DE LÉGISLATION

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêté du 7 juin 1930 relatif à l'application des articles 182 et 183 de la loi de finances du 16 avril 1930 (électrification rurale).

Voici le texte de cet arrêté émanant du Ministère de l'Agriculture, en date du 7 juin 1930 et publié au « Journal Officiel » du 8 juin 1930, page 6345.

Le ministre de l'Agriculture,

Vu les règlements d'administration publique du 13 décembre 1923 (1) et du 11 août 1929 (2) concernant les avances de l'Etat à taux réduit pour l'électrification des campagnes ;

Vu l'arrêté du 5 janvier 1924 (3) relatif à l'électrification des campagnes ;

Vu l'arrêté du 11 janvier 1928 (4) modifiant l'article 6 de l'arrêté du 5 janvier 1924 ;

Vu l'article 75 de la loi du 30 mars 1929 (5) et l'arrêté du 1er juillet 1929 (6) relatifs à l'électrification des écarts ;

Vu l'arrêté du 21 janvier 1930 pris en application de l'article 4 du décret portant règlement d'administration publique du 13 décembre 1923 ;

Vu les articles 182 et 183 de la loi du 16 avril 1930 (7) portant fixation du budget général de l'exercice 1930-1931 ;

Sur le rapport du directeur général des Eaux et Forêts,

Arrête :

Article premier. — Sont considérés comme travaux intéressant des écarts et subventionnés comme tels :

a) Sur le territoire d'une commune ou d'un syndicat de communes dont les agglomérations principales sont électrifiées, les travaux concernant les hameaux et les fermes isolées restant à électrifier ;

b) Sur le territoire d'une commune ou d'un syndicat de communes où les agglomérations principales ne sont pas électrifiées, la tranche des travaux compris dans le projet approuvé par le ministre, excédant la dépense unitaire fixée chaque année par arrêté interministériel en application de l'article 4 du règlement d'administration publique du 13 décembre 1923.

Art. 2. — Lorsque le projet de travaux, la convention et le cahier des charges auront, avant tout commencement d'exécution, été soumis à l'examen du ministre et jugés économiquement acceptables, les dépenses correspondant à l'électrification des écarts, tels qu'ils sont définis ci-dessus, sont subventionnées à raison de 50 pour 100, les autres dépenses étant subventionnées au taux uniforme de 33 pour 100.

Ces subventions ne sont pas exclusives des prêts attribués en vertu de la loi du 2 août 1923.

Art. 3. — Toutes dispositions contraires et notamment le paragraphe premier de l'article 4 et l'article 6 de l'arrêté du 5 janvier 1924, la circulaire du 1er mai 1926, les arrêtés du 11 janvier 1928 et du 1er juillet 1929 sont abrogés.

Art. 4. — Le directeur général des Eaux et Forêts est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait à Paris, le 7 juin 1930.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 2 février 1924, t. XV, p. 194-197.
(2) *Idem*, 7 septembre 1929, t. XXVI, p 363-364.
(3) *Idem*, 9 février 1924, t. XV, p. 237-238.
(4) *Idem*, 4 février 1928, t. XXIII,. p. 248.
(5) *Idem*, 20 avril 1929, t. XXV, p. 631-632.
(6) *Idem*, 27 juillet 1929, t. XXVI, p. 159,
(7) *Idem*, 17 mai 1930, t. XXVII, p. 797-799.

Sur l'exonération de l'impôt sur le revenu des valeurs mobilières.

Le « Journal officiel » du 13 juin 1930 publie, pages 2475, 2476 et 2481 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et les réponses qui suivent :

7256. — M. Barbot expose à M. le ministre du Budget : *a*) que pour son électrification, une commune a dû emprunter une somme importante à divers particuliers et au taux de 7,50 pour 100 ; *b*) que le maire de ladite commune peut actuellement emprunter à d'autres personnes et au taux de 5 pour 100 la somme suffisante pour rembourser le premier emprunt, et demande si ce nouvel emprunt, contracté à de nouveaux bailleurs de fonds, sera exempt de l'impôt de 18 pour 100 sur les revenus des créances en exécution de l'article 17 de la loi du 29 décembre 1929, (Question du 23 janvier 1930.)

Réponse. — Réponse affirmative.

7964. — M. Cautru demande à M. le ministre du Budget si une commune, qui contracte un emprunt par la voie d'une émission publique et par l'intermédiaire d'une banque, jouit de l'exonération de l'impôt sur le revenu des capitaux mobiliers prévue par l'article 17 de la loi du 29 décembre 1929. (Question du 6 mars 1930.)

Réponse. — L'exonération profite à l'emprunt si la banque agit véritablement comme simple intermédiaire, sans s'engager en son nom. L'impôt est, au contraire, exigible si la banque place l'emprunt dans sa clientèle, à la suite d'un contrat de prise ferme avec la commune.

8701. — M. Boissel-Dombreval demande à M. le ministre du Budget si la loi du 29 décembre 1929, article 17, qui exonère de la taxe les intérêts des emprunts contractés par les communes, ne vise que les emprunts émis à partir de la promulgation de la loi, c'est-à-dire du 1er janvier 1930, ou bien si l'exonération de la taxe s'applique également aux emprunts émis antérieurement. (Question du 15 avril 1930.)

Réponse. — L'exonération accordée par l'article 17 de la loi du 29 décembre 1929 n'est applicable qu'aux emprunts émis à partir de l'entrée en vigueur de cette loi. Mais l'article 31 de la loi du 16 avril 1930 a étendu l'exemption aux emprunts émis avant le 1er janvier 1930 quand l'impôt a été pris en charge par la collectivité emprunteuse.

Sur la procédure des réclamations en matière de contributions directes.

Le « Journal officiel » du 13 juin 1930 publie, pages 2479 et 2480 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », les questions et les réponses qui suivent :

8584. — M. Brocard rappelle que la loi du 27 décembre 1927, modifiant la procédure des réclamations, en matière de contributions directes, a imparti un délai de six mois au directeur des contributions directes pour prendre une décision, et demande : 1° quelles conséquences entraîne le défaut de réponse dans le délai précité ; 2° si ce silence peut être interprété d'office comme un rejet ou comme une acceptation ; 3° dans la première de ces hypothèses si le réclamant, qui n'a pas reçu de réponse plus de six mois après que sa demande est parvenue au directeur, peut se pourvoir de plano devant le conseil de préfecture interdépartemental sans risquer de voir cette demande rejetée comme étant prématurée. (Question du 9 avril 1930.)

Réponse. — Lorsque exceptionnellement un contribuable en instance de réclamation n'a pu être avisé, dans les six mois, de la suite donnée à sa demande, il est autorisé à considérer que sa réclamation a été rejetée. Il a, dès lors, la faculté, s'il le juge à propos, de saisir le conseil de préfecture sans plus attendre. Le délai dont il dispose à cet effet commence dès l'expiration du délai de six mois fixé par l'article 11 de la loi du 27 décembre 1927 et ne prend fin, en toute hypothèse, qu'un mois après la date de la notification de la décision du directeur.

8591. — M. J.-M. Thomas signale à M. le ministre du Budget que les contribuables qui ont fait en 1929 des réclamations justifiées n'ont pas encore obtenu les dégrèvements auxquels ils ont droit sur le montant de leurs impôts, et demande que les instructions nécessaires soient données aux directeurs départementaux des contributions directes pour que ces dégrèvements soient établis d'urgence afin que les contribuables qui ont déjà payé soient remboursés des sommes qu'ils ont versées en trop. (Question du 9 avril 1930.)

Réponse. — Les instructions nécessaires ont été données au service des contributions directes pour que les réclamations reçoivent une solution dans le délai de six mois fixé par l'article 11 de la loi du 27 décembre 1927. Si, néanmoins, des retards exceptionnels lui étaient signalés, l'Administration ne manquerait pas de faire procéder à une enquête sur les cas particuliers qui seraient portés à sa connaissance.

Sur les causes retardant la mise en service de certains réseaux communaux de distribution d'énergie électrique.

Le « Journal officiel » du 18 juin 1930 publie, page 2543 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés » la question et la réponse qui suivent :

8497. — M. Patureau-Mirand demande à M. le ministre des Travaux publics s'il est admissible que les usagers d'un réseau électrique terminé se voient refuser le courant, parce que des compagnies d'électricité ne s'entendent pas ; ajoute : *a*) que si, comme on l'a écrit, le courant est refusé parce que le réseau n'aurait pas été établi conformément au cahier des charges et pourrait être dangereux à utiliser, on se demande comment pareille chose a pu se produire, étant donné les garanties et le contrôle exigés par la loi ; *b*) que les intéressés qui ont payé : 1° pour le réseau ; 2° pour leurs installations particulières, seraient reconnaissants au ministre d'intervenir pour leur faire donner le courant auquel ils ont droit. (Question du 3 avril 1930.)

Réponse. — Les difficultés signalées sont survenues dans les zones des syndicats de communes de la Châtre, Buzançais et Issoudun, où la construction des réseaux n'a pas été confiée aux entreprises concessionnaires. Or, si les concessions sont accordées sous le contrôle des services du Ministère des Travaux publics, les travaux de construction sont adjugés par les syndicats, en toute liberté, dans les conditions de la loi municipale de 1884. Les ouvrages exécutés doivent, bien entendu, satisfaire aux prescriptions des règlements techniques pris par le ministre des Travaux publics pour assurer la sécurité des personnes. Mais ils doivent, en outre, répondre aux clauses de cahiers des charges spéciaux, établis par les syndicats et leur assurant, pour faciliter l'exploitation, une résistance supérieure à celle qu'exige la sécurité. Or, l'exécution des travaux par l'entrepreneur a fait apparaître des insuffisances par rapport aux cahiers des charges de construction et le concessionnaire paraît fondé à refuser la prise en charge du réseau ainsi construit. Les litiges qui en ont résulté entre intéressés sont actuellement soumis, soit à des arbitrages, soit aux tribunaux compétents. Dans l'un des syndicats (Issoudun), la mise en service ne pourra avoir lieu prochainement : les ouvrages ne présentant pas la solidité requise par les règlements sur la sécurité, il est indispensable de les mettre en état pour que l'on puisse songer à y faire passer le courant électrique. Dans les deux syndicats (la Châtre et Buzançais), la première enquête à laquelle il a été procédé montre que les ouvrages exécutés, bien que non conformes au cahier des charges, paraissent satisfaire néanmoins aux règlements et être par conséquent techniquement utilisables sans même avoir été rendus exactement conformes au cahier des charges. Des négociations sont en cours en vue d'une mise sous tension prochaine réservant les droits des parties en cause, permettant l'exécution intégrale des cahiers des charges de construction et garantissant bien entendu aux collectivités qu'elles n'auront aucune charge pécuniaire à supporter du fait des insuffisances qui seront reconnues. Une enquête est, par ailleurs prescrite, afin d'établir les responsabilités qui ont pu être engagées dans cette affaire.

Sur les mesures envisagées en faveur des assujettis à la Caisse des Retraites ouvrières et paysannes qui ne sont pas assujettis à la loi sur les assurances sociales.

Le « Journal officiel » du 18 juin 1930 publie, page 1323 des « Débats parlementaires, Sénat » la question et la réponse qui suivent :

236. — M. Chastenet, sénateur, demande à M. le ministre du Travail quel va être le sort des assujettis volontaires à la loi des retraites ouvrières et paysannes, qui ne sont pas assujettis à la loi des assurances sociales, parce que leurs appointements actuels dépassent les maxima fixés par la loi sur les assurances sociales. (Question du 15 avril 1930.)

Réponse. — Les assurés des retraites ouvrières et paysannes qui ne rempliront pas les conditions pour bénéficier de la loi sur les assurances sociales conserveront leurs droits éventuels aux rentes produites par leurs versements.

L'Administration étudie les mesures qui pourraient être prises en faveur des intéressés, en vue de leur permettre de continuer les versements commencés sous le régime des retraites ouvrières.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR. :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 5. — 2 AOUT 1930.

Chronique. — A propos des équations aux dimensions des grandeurs électriques et magnétiques, p. 161. — **Bibliographie :** Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures. Tome XVIII, p. 162; Manuel pratique du monteur électricien, par J. LAFFARGUE et L. JUMAU, p. 164; Conférences d'actualités scientifiques et industrielles (année 1929), p. 164.

Section scientifique et technique. — L'état actuel de nos connaissances sur les supraconducteurs, par A. BOUTARIC, p. 165. — Revues, analyses et informations : Mesures des constantes diélectriques des milieux conducteurs, p. 173; Etude sur l'électrodéposition des métaux, p. 174; Production de l'électricité par frottement, p. 175; La saturation absolue des substances ferromagnétiques et les lois d'approche en fonction du champ et de la température, p. 176.

Section industrielle. — La commande électropneumatique système Bergmann pour unités multiples, par D. DENIS, p. 177. — Revues, analyses et informations : Les méthodes modernes de nickelage, p. 182; Une réalisation industrielle de l'accumulateur plomb-zinc : l'accumulateur léger Pouchain, p. 187; Utilisation du poussier de lignite comme combustible sous forme pulvérisée, p. 188.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie lorraine d'Electricité, p. 189; Société de Force et Lumière électriques (Forclum), p. 190.

Section de législation. — L'enregistrement des accords entre concessionnaires de chutes et titulaires de droits d'eau, par Achille MESTRE, p. 191.

A propos des équations aux dimensions des grandeurs électriques et magnétiques. — Dans le numéro de la « Revue générale de l'Electricité » du 18 mai 1929, t. XXV, p. 759 à 763, ont été publiées des observations de M. E. Brylinski relatives à un article de M. Kalantaroff dans lequel ce dernier démontrait la nécessité de porter à quatre le nombre des grandeurs fondamentales dans les systèmes d'unités électriques et magnétiques ; cette même note contient, à la suite des premières observations de M. E. Brylinski, deux réponses, l'une de M. Mitkevitch et l'autre de M. Kalantaroff et enfin, de nouvelles observations de M. Brylinski. En réponse à ces observations, nous avons reçu de M. Kalantaroff une nouvelle note, en date du 30 mai 1930, dont il a bien voulu établir un simple résumé pour clore une discussion qui, tant suivant l'avis de ce dernier auteur que suivant celui de M. Brylinski, pourrait être encore longtemps poursuivie. Voici le texte de ce résumé :

1. Je suis complètement d'accord avec M. Brylinski lorsqu'il écrit que Maxwell ne voyait probablement aucune nécessité d'introduire quatre grandeurs fondamentales ; néanmoins la présence des systèmes de dimensions à quatre grandeurs fondamentales, dans le traité de Maxwell, est un fait indiscutable. En ce qui concerne la similitude du système que je propose avec le système proposé par M. Brylinski en 1917, je me permets de faire remarquer que tous les systèmes qui sont ou seront basés sur quatre grandeurs fondamentales se ressembleront par leur forme ; mais il y aura toujours une différence dans leur principe et, à mon avis, cette différence entre le système de M. Brylinski et le mien est aussi grande, que, d'après l'avis de M. Brylinski, est grande leur similitude de forme.

Comme M. Brylinski, je suis persuadé qu'il est nécessaire de chercher à choisir un ensemble de grandeurs fondamentales qui permette de déduire la dimension de chaque grandeur physique ; or, je crois pouvoir considérer le système que je propose comme une tentative, pouvant donner quelque résultat dans la voie indiquée.

2. Mon explication relative à la possibilité d'exprimer la puissance par le carré d'une grandeur physique est, à mon avis, complètement définie. Mais comme le texte des « observations complémentaires » de M. Brylinski laisse entendre que je crois possible d'exprimer l'énergie par le carré d'une grandeur physique, je me permets d'indiquer que nulle part je n'ai énoncé une telle affirmation.

3. Au sujet des rapports mutuels entre les phénomènes magnétiques et électriques, d'une part, et le flux magnétique et la quantité d'électricité, d'autre part, M. Brylinski a vu dans ma note et dans ma réponse des conceptions que le texte, à mon avis, n'exprime nullement. Premièrement, comme je l'ai déjà dit dans ma réponse, je n'ai point exprimé l'idée d'une analogie entre les phénomènes magnétiques et électriques dans le sens que M. Brylinski donne au mot « analogie ». Quant à l'analogie de la structure des groupes des grandeurs magnétiques, électriques et même énergétiques dans le système que je propose, je la crois bien évidente.

De plus, l'absence « d'analogie » entre les phénomènes magnétiques et électriques, ou pour mieux préciser, l'existence d'une différence entre eux, n'entraîne aucunement la nécessité de considérer l'égalité $[\Phi] = [Q]$ comme une égalité toute formelle. Cette dernière hypothèse du caractère purement formel de l'égalité $[\Phi] = [Q]$, que M. Brylinski m'attribue ne s'accorde aucunement avec le texte de ma réponse. Suivant les idées de W.-F. Mitkewitch, j'ai affirmé et continue d'affirmer qu'il existe seulement des phénomènes électromagnétiques, qui sont aussi bien dans leur partie magnétique que dans leur partie électrique, les résultats d'un seul procédé — le mouvement des anneaux de tourbillon magnétiques. Cet anneau de tourbillon peut et doit être regardé non seulement comme un quantum du flux magnétique, mais en même temps comme un quantum de la quantité d'électricité (l'électron); c'est-à-dire l'égalité $[\Phi] = [Q]$ confirme l'idée de l'identité de l'anneau de tourbillon magnétique élémentaire et de l'électron. Certes, dans ces conditions il n'y a pas lieu de parler de l'émission des anneaux de tourbillons magnétiques par l'électron ou des électrons par l'anneau magnétique.

Je crois utile de remarquer à ce propos que des idées analogues à celles de W.-F. Mitkewitch ont été développées dernièrement par J.-J. Thomson, qui considère cependant les procédés électromagnétiques comme le résultat du mouvement des anneaux de tourbillon électrique élémentaire.

Bibliographie : Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures (Tome XVIII) (1). — Le tome XVIII des « Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures », qui vient de paraître, contient plusieurs mémoires, mais la majeure partie en est occupée par les comptes rendus des sixième et septième Conférences générales, avec les récents progrès du système métrique et la relation du cinquantenaire de la fondation du Bureau international. Ce gros ouvrage, de près de 500 pages, arrive moins de trois ans après la publication du tome XVII, et témoigne, à son tour, de l'activité scientifique et administrative déployée par le Bureau international des Poids et Mesures.

Le premier mémoire est de M. Ch.-Ed. Guillaume. Il est intitulé : « Nouvelles études thermoélectriques » et fait suite au « Etudes thermométriques », du même auteur, publiées dans le tome X, en 1886.

La question du thermomètre, à laquelle M. Ch.-Ed. Guillaume n'a jamais cessé de s'intéresser, a subi un temps d'éclipse. Remarquablement mis au point par le Bureau international et exécuté par les habiles constructeurs Tonnelot et Baudin, cet instrument, en effet, a pâti ces derniers temps de circonstances adverses : le verre dur, qui était son principal élément de succès, ne peut plus être obtenu dans sa composition primitive et, de plus, Baudin est mort sans laisser de successeur. C'est pourquoi le Bureau dut prendre des dispositions opportunes et obtint de la Société Rhône-Poulenc qu'elle exécutât des thermomètres conformes aux idées que l'on avait sur ces instruments. On souda des réservoirs en verre d'Iéna à des tiges en verre vert français et on est arrivé ainsi à exécuter en série des instruments qui répondent aux exigences du Bureau.

M. Guillaume rend compte d'expériences qui se localisent entre 1889, époque où parut son « Traité de thermométrie », et 1896, année où il commença ses expériences sur les ferro-nickel. Il étudie d'abord l'erreur capillaire des thermomètres, chose dont on s'occupe peu en général, mais qui est fort importante dans les thermomètres dont la longueur de tige correspondant à un degré est considérable. En effet, à une même température, un thermomètre peut donner des indications diverses, suivant que le thermomètre monte ou qu'il descend. Dans un tube de 0,1 mm de diamètre, une colonne de 48 mm de longueur reste suspendue par les seules forces capillaires.

C'est dans la mesure du coefficient de pression que ces forces apparaissent avec le plus de netteté. En effet, on détermine le coefficient de pression en observant un thermomètre sous la pression atmosphérique normale et sous une pression diminuée, obtenue en inversant les robinets à l'extrémité d'un long tube de verre, en relation, d'un côté, avec l'atmosphère et, de l'autre, avec un réservoir dans lequel on a établi un vide partiel. En opérant avec des allures différentes de la variation de la température, on obtient un coefficient de pression qui augmente d'abord proportionnellement à la vitesse de variation puis qui se fixe à une valeur déterminée lorsque la marche a atteint une certaine limite.

On peut aussi opérer à différentes pressions et avec une marche de température extrêmement faible. Dans ce cas, le déplacement observé sur le thermomètre varie avec la pression suivant une fonction linéaire de celle-ci, mais qui ne passe pas par le zéro de la pression. En joignant les points ainsi obtenus, on trouve une droite, qui ne rencontre pas l'origine et dont l'inclinaison donne la valeur du coefficient de pression.

L'auteur consacre ensuite un chapitre à l'étude du thermomètre hypsométrique, c'est-à-dire du thermomètre qui donne la hauteur barométrique par détermination de la température de la vapeur d'eau saturante, en admettant connue la relation entre cette température et la pression atmosphérique. Après avoir fait l'étude complète de deux thermomètres hypsométriques et tenu compte de l'erreur capillaire, l'auteur rend compte de 97 expériences sur la température d'ébullition de l'eau, pour des pressions correspondant à celles de colonnes de mercure de 740 mm à 773 mm de hauteur. Il compare alors les tables de Broch, de Wiebe et de Chappuis et arrive à la conclusion que les premières, tirées des expériences de Regnault, doivent être corrigées et que les nombres de Chappuis sont à peu près corrects.

Une note annexe de M. Ch. Volet, intitulée « La température d'ébullition de l'eau d'après les expériences de P. Chappuis », donne de plus amples renseignements sur cette question, mais conclut que les expériences de Chappuis, dont les résultats concordent exactement avec ceux des expériences de Bonhoure et Zmaczynski, sont, pour le moment, les plus correctes.

Le chapitre suivant traite de la comparaison des thermomètres en cristal anglais et en verre d'Iéna 16^{III} avec les thermomètres en verre dur. L'auteur a exécuté ces comparaisons entre 0°C et 50°C et trouvé des résultats variés. Les thermomètres en cristal anglais se rapprochent beaucoup de l'échelle du thermomètre à hydrogène, tandis que ceux en verre d'Iéna donnent des résultats qui concordent à peu près avec ceux des thermomètres en verre dur.

Puis viennent les changements qu'éprouvent les thermomètres par l'action du temps ou sous l'effet de l'étuvage. L'auteur montre que, jusqu'à 100°C, les variations des thermomètres en verre dur sont négligeables; en revanche, quand on les chauffe à 200°C, les variations peuvent devenir notables. Celles du zéro atteignent 1 degré centésimal et l'intervalle fondamental varie aussi d'une quantité appréciable.

(1) Un volume, format 33 × 25 cm, de 426 pages, édité par la librairie Gauthiers-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : broché, 140 fr.

Ce mémoire, publié tardivement, mais dont les résultats semblent n'avoir pas été dépassés depuis qu'ils ont été mis au jour, discute d'erreurs assez subtiles et qui étaient difficiles à corriger. Il complète au mieux l'œuvre thermométrique de l'auteur.

Nous avons dit un mot du mémoire de M. Volet. Il discute les nombres de Regnault, de Wiebe, de Chappuis, de Holborn et Henning, ainsi que ceux de Bonhoure et Zmaczynski. Les Wärmetabellen de la Reichsanstalt sont à peu près calquées sur les nombres de Wiebe. Les nombres qui paraissent les plus probables aujourd'hui s'en écartent sensiblement.

Dans la partie suivante, M. Pérard donne la suite des mémoires publiés dans les précédents volumes et traite maintenant des « applications pratiques des interférences lumineuses à l'étude des calibres industriels et autres longueurs à bouts ».

Aujourd'hui, les calibres industriels les plus parfaits sont constitués par des blocs d'acier terminés par des surfaces planes, suivant le modèle établi par Johansson, à Eskilstuna. Ces calibres présentent, sur ceux à bouts ronds, qui furent un moment classiques, l'avantage de permettre la détermination très précise par les procédés interférentiels, tandis que les étalons à bouts ronds ne peuvent être déterminés que par des contacts mécaniques. L'élément essentiel des nouveaux appareils est un plan d'acier, sur lequel on dispose les étalons en les faisant adhérer. Les nouveaux étalons à bouts peuvent, en effet, se coller sur des surfaces bien planes. On amène ensuite un plan de verre au-dessus de la surface d'acier et des calibres, de telle sorte qu'il se produit des interférences entre les plans d'acier et de verre. Par une étude spéciale, on peut déterminer l'ordre des franges d'interférence; par conséquent, on connaît la distance des deux plans, et, en établissant également des interférences avec la surface supérieure du calibre d'acier, on détermine la distance des deux plans terminaux.

L'auteur montre comment on peut comparer un calibre à la moyenne de deux autres, etc. Pour déduire de là une méthode pratique, il a établi un interféromètre industriel, pour la description duquel nous renvoyons au mémoire original, et qui paraît très maniable. Des exemples sont donnés, avec des figures très bien exécutées, montrant les franges entre les surfaces du plan d'acier et du plan de verre, puis une série de calibres, dont la forme se déduit des mêmes interférences. A ce mémoire sont adjoints plusieurs exemples traitant de la correction de courbure des surfaces, de la comparaison des calibres, etc. Des exemples sont donnés pour les calibres de 50 mm mesurés au millième de micron près. C'est une toute nouvelle méthode qui ne peut manquer de se répandre.

Le reste du volume est consacré aux questions administratives, traitées dans la sixième Conférence, réunie en 1921, et dans la septième Conférence de 1927. A ces Conférences, assistèrent des délégués de tous les états adhérents à la Convention du Mètre.

M. R. Gautier, directeur de l'Observatoire de Genève, remplit, en 1921, les fonctions de président du Comité international et M. E. Picard, celles de président de la Conférence. M. Gautier présenta à la Conférence un rapport sur les travaux accomplis dans les huit dernières années. Il traita, en particulier, de l'allongement des étalons d'usage du Bureau international des Poids et Mesures qui, depuis l'année 1892, époque où ils furent pour la dernière fois rapportés au prototype international, ont gagné respectivement 0,36 μ et 0,38 μ. En revanche, le prototype international et ses témoins ont gardé les mêmes équations relatives.

Les dilatabilités des mètres nationaux avaient été déterminées par des comparaisons avec le mètre n° 6, devenu le prototype international, dans un travail exécuté en 1887-1888 et auquel MM. Benoît et Guillaume avaient donné tous leurs soins et d'où ils avaient conclu à la probabilité de différences très faibles, mais pourtant mesurables, d'un étalon à l'autre. Les déterminations récentes, auxquelles il a été possible de consacrer plus de temps, ont conduit à penser que les écarts réels sont inférieurs à la limite de précision que la méthode du comparateur permet de garantir. Le rapport de M. Gautier fait également allusion à la détermination des étalons à bouts, auxquels MM. Pérard et Maudet ont consacré beaucoup de temps. Le rapport conclut : « Soit pour un étalon unique, soit pour un bloc constitué par un nombre assez grand d'étalons accolés, le dixième de micron n'est plus une illusion. »

La question de la dotation du Bureau a fait l'objet des discussions de la Conférence. En s'inspirant des dépenses réelles, la Conférence décida de fixer la dotation à 250 000 fr et quand on proposa que le Comité pourrait l'augmenter jusqu'au chiffre de 300 000 fr, le délégué anglais y opposa son vote. Vient ensuite une modification au règlement concernant l'organisation de la caisse de retraites en faveur du personnel du Bureau, puis une décision relative aux équations des kilogrammes nos 28 et 37, qui étaient restés aux mains des Allemands pendant l'occupation de la Belgique et que leurs propriétaires ont désiré voir déterminés à nouveau au Bureau international des Poids et Mesures.

Enfin, M. Guillaume résume les recherches qu'il a accomplies sur les métaux et alliages, l'une relative aux aciers au nickel, l'autre, aux aciers au chrome trempants. M. Pérard expose la méthode qu'il a combinée pour déterminer, en longueurs d'onde, des étalons en quartz jusqu'à 100 mm de longueur, travail prévu dans le programme du Bureau. En effet, on se propose d'établir divers étalons en quartz et de les déterminer par les interférences, puis de les distribuer parmi les Etats qui possèdent le moyen de faire des déterminations interférentielle. Ainsi, s'établira un contrôle des mesures de ce genre. L'avenir dira quelles conclusions s'en dégagent.

Aux comptes rendus de la Conférence est annexé un rapport intitulé « Les récents progrès du système métrique » et qu'on doit à M. Guillaume qui est, comme on le sait, l'un des plus actifs champions de ce système. Après avoir exposé les résultats des comparaisons de quinze prototypes en platine irridié, le rapport traite des étalons industriels; puis il en vient aux métaux et alliages, c'est-à-dire aux aciers trempants. Il rend compte ensuite des expériences faites sur l'élimination du carbone dans l'invar et montre que là se trouve le moyen de stabiliser cet alliage. Enfin, il termine par la description des propriétés de l'élinvar.

Dans la deuxième partie du rapport précité, l'auteur traite des lois nouvelles, en particulier des progrès que l'emploi légal du système métrique a faits au Venezuela, au Canada, en Chine, en Russie, en Allemagne et en France ; dans ce dernier pays, en vertu de la loi du 2 avril 1919 et du décret du 20 juillet de la même année. En Grèce, en Haïti, au Japon et dans les nouvelles provinces de la Roumanie, le système métrique est devenu obligatoire. Aux Etats-Unis, une nouvelle loi est en préparation ; mais à l'heure actuelle, elle n'est pas encore définitive.

Les comptes rendus des séances de la septième Conférence générale, présidée par M. G. Bigourdan, sont disposés comme les précédents. M. Vito Volterra, comme président du Comité international, résume d'abord les travaux accomplis par le Bureau international des Poids et Mesures dans les six années écoulées. Puis M. Guillaume rend compte des tra-

vaux très longs et minutieux exécutés par le Bureau pour déterminer la dilatation des prototypes.

La Conférence adopte certaines propositions du Comité, l'une relative à la température de définition des étalons à bouts, l'autre se rapportant à un Comité consultatif d'Electricité ayant pour objet de conseiller le Bureau international des Poids et Mesures sur les questions relatives aux systèmes de mesure et aux étalons électriques. Enfin, la dotation du Bureau est fixée à 150000 francs-or.

M. Guillaume expose les progrès du système métrique aux Etats-Unis, au Maroc, au Siam, en Perse, dans l'Afghanistan et au Japon ; puis M. Dobrokhotov parle de l'introduction du système métrique dans l'Union des Républiques socialistes soviétiques, où, le 14 septembre 1918, un décret pour l'introduction du système a été voté par le Conseil des Commissaires du Peuple; toutefois, il n'a pas été possible de l'appliquer immédiatement et la date de l'application a été remise au début de l'année 1927. La loi est la même que la loi française qui prévoit le sthène et la pièze.

Les comptes rendus de la septième Conférence se terminent par des mémoires annexes concernant la définition des unités et celle du mètre, l'extension des fonctions du Bureau international, le texte concernant l'adoption d'une échelle internationale de température, les recommandations concernant l'établissement et la conservation d'unités internationales d'électricité, de photométrie et de radiométrie, les propositions des gouvernements mexicain, argentin, polonais et roumain, ainsi que la détermination d'une règle géodésique de 5 m en fonction de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium et les résultats des comparaisons d'éléments appartenant à divers laboratoires, faites par les soins de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Union des Républiques socialistes soviétiques.

A la fin du volume sont reproduits les discours prononcés par MM. E. Picard, Ch.-Ed. Guillaume et M. Bokanowski, dans la salle des séances de l'Institut de France, pour célébrer le cinquantenaire de la Convention du Mètre et du Bureau international des Poids et Mesures. — J. R.

Bibliographie : Manuel pratique du monteur électricien, par J. Laffargue et L. Jumau (1). — Nous attirons l'attention de nos lecteurs sur la publication de la vingtième édition de ce manuel bien connu des électriciens. De si nombreuses rééditions sont la preuve que cet ouvrage répond entièrement au but que s'étaient proposé les auteurs à l'origine de sa publication, c'est-à-dire d'expliquer au monteur électricien le fonctionnement des machines et appareils électriques qu'il utilise ou qu'il installe dans la pratique journalière de sa profession.

Il existe, sans doute, d'excellents ouvrages qui traitent l'électrotechnique avec toute la clarté désirable, mais les démonstrations rigoureuses qu'ils contiennent font intervenir des connaissances mathématiques que ne possèdent pas tous les ouvriers. Le « Manuel pratique du monteur électricien » a été créé pour obvier à cet inconvénient; il ne contient que des explications simples, pouvant être saisies par tout lecteur attentif, même si son instruction générale est assez élémentaire. Les démonstrations qu'il contient sont d'ailleurs celles qui sont exposées depuis plus de trente ans par M. L. Jumau aux élèves de la Fédération des Chauffeurs, Mécaniciens, Electriciens, dont les cours d'électricité furent créés en 1890 par J. Laffargue.

Cette vingtième édition a d'ailleurs été complètement refondue pour être en complète harmonie avec les progrès actuels réalisés dans les diverses branches de l'électrotechnique. A cet effet, M. L. Jumau, qui dirige seul la rédaction de cet ouvrage depuis la mort de J. Laffargue survenue en 1907, s'est efforcé de ne laisser aucun point dans l'ombre, de donner au lecteur les renseignements techniques les plus récents et d'exposer avec méthode toutes les questions de l'électrotechnique sous une forme qui convient non seulement aux monteurs électriciens, mais aussi aux contremaîtres et bien souvent même aux ingénieurs. — B. E.

(1) Un volume, format 17 cm × 12 cm, de 934 pages, avec 849 figures dans le texte et 5 planches en couleur hors texte, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : relié, 75 fr.

Bibliographie : Conférences d'actualités scientifiques et industrielles (année 1929) (1). — Dans cet ouvrage sont réunies neuf conférences faites, dans le courant de l'année 1929, au Conservatoire national des Arts et Métiers. Les questions traitées dans ces conférences sont soit de l'ordre théorique, soit de l'ordre pratique; comme il est difficile, sinon impossible, d'établir une distinction précise entre ce qui touche à la théorie et ce qui rentre dans le domaine des applications, à cause des liens étroits entre la technique et la science, nous donnerons le titre des conférences dans l'ordre dans lequel elles se présentent dans l'ouvrage.

C'est d'abord la conférence de M. L. de Broglie sur « Une crise récente de l'optique ondulatoire » où l'auteur expose les origines de la mécanique ondulatoire. M. Forx traite ensuite des substances mésomorphes et de leurs propriétés magnétiques; son but paraît être, étant donné le public auquel il s'adresse, d'attirer l'attention des jeunes étudiants sur ce qui a été fait dans ce domaine et de leur montrer ce qui reste à faire : « On ne saurait trop encourager les jeunes physiciens en quête d'un sujet de travail à s'engager dans cette voie ».

Dans sa conférence sur « Les atomes de lumière et les quanta », M. E. Bloch donne un aperçu de quelques conceptions de la physique qui conduisent à la mécanique ondulatoire.

Les conférences de M. L. Dunoyer, sur la cellule photoélectrique, de M. G. Ribaud, sur le rayonnement des corps incandescents et du colonel Jullien, sur le principe de la production électrique des sons, rentrent dans la catégorie de celles que nous appelons d'ordre pratique, ce qui n'exclut pas, d'ailleurs, les considérations théoriques. Dans chacune de ces conférences sont exposées les applications des phénomènes physiques envisagés, décrits d'ailleurs avec précision; des résultats expérimentaux, éventuellement des schémas, donnent à ces études leur véritable caractère de conférence d'actualités et de documentation.

Suit la conférence de M. L. Bloch sur les problèmes de la structure des spectres et des atomes et la mécanique nouvelle; l'auteur y montre l'application de la mécanique ondulatoire à l'étude de la constitution de l'atome par la répartition des raies spectrales.

M. V. Kammerer traite des hautes pressions de vapeur et M. Mesny, des ondes dirigées; il s'agit bien là encore de deux questions d'actualité et les techniciens apprendront certes avec intérêt qu'elles sont traitées, l'une et l'autre, dans ce recueil de conférences et qu'ils peuvent y trouver les éléments d'une étude plus approfondie. — A. C.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 417 pages, avec 41 figures dans le texte, édité par la librairie Hermann et Cie, 6, rue de la Sorbonne, à Paris (6e). Prix : broché, 90 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

L'état actuel de nos connaissances sur les supraconducteurs

C'est en 1911 que Kamerlingh Onnes constata que la résistance du mercure s'annule au voisinage de la température absolue ; depuis cette époque, des recherches furent poursuivies dans le but de préciser les conditions dans lesquelles se produit ce phénomène et de l'expliquer. Dans l'article qui suit, l'auteur rend compte des résultats obtenus ; il examine les théories proposées pour interpréter cette propriété des conducteurs que Kamerlingh Onnes lui-même a désignée sous le nom de supraconductibilité. Rapprochant les résultats expérimentaux et les hypothèses émises, il montre les voies diverses suivies pour aboutir à une explication satisfaisante. Parmi les auteurs dont les travaux sont analysés au cours de cette étude, nous mentionnerons, après Kamerlingh Onnes, de Haas, Keesom et Kapitza.

I. **Découverte de la supraconductibilité.** — Lorsqu'on refroidit un métal, sa résistance diminue suivant une loi sensiblement linéaire, le coefficient de température étant voisin de $\frac{1}{250}$ aux températures ordinaires. En réalité, la variation de la résistance en fonction de la température est représentée par une courbe assez compliquée. Lorsqu'on approche du zéro absolu, la résistance diminue de moins en moins vite et finit pour la plupart des métaux par prendre une valeur sensiblement constante. C'est ce que montrent, par exemple, les nombres suivants qui donnent pour un fil de platine les valeurs du quotient $\frac{R}{R_0}$ de la résistance R à diverses températures T par la résistance R_0 à la température de 0°C :

Température absolue		$\frac{R}{R_0}$
273,09° K		1,0000
20,2	Hydrogène liquide	0,0171
14,2		0,0135
4,3	Hélium liquide	0,0119
2,3		0,0119
1,5		0,0119

La variation du quotient $\frac{R}{R_0}$ a été représentée sur la figure 1.

Cependant en 1911, le physicien hollandais Kamerlingh Onnes, en étudiant la résistance électrique d'un filament de mercure jusqu'aux températures très basses de l'hélium liquide, constata que la résistance du mercure disparaissait complètement et devenait pratiquement nulle à une température d'environ 4°K ; en outre, et c'était là un fait extrêmement curieux, la résistance tombait vers 4,2°K brusquement, et d'une manière discontinue, d'une valeur mesurable à une valeur pratiquement égale à zéro, comme le montre sur la figure 1 la courbe relative au mercure. La résistivité devenant infiniment petite, son inverse, la conductivité, prend une valeur infiniment grande et Kamerlingh Onnes a proposé le nom de supraconductibilité pour désigner le phénomène qui apparaît dans ces conditions ; on

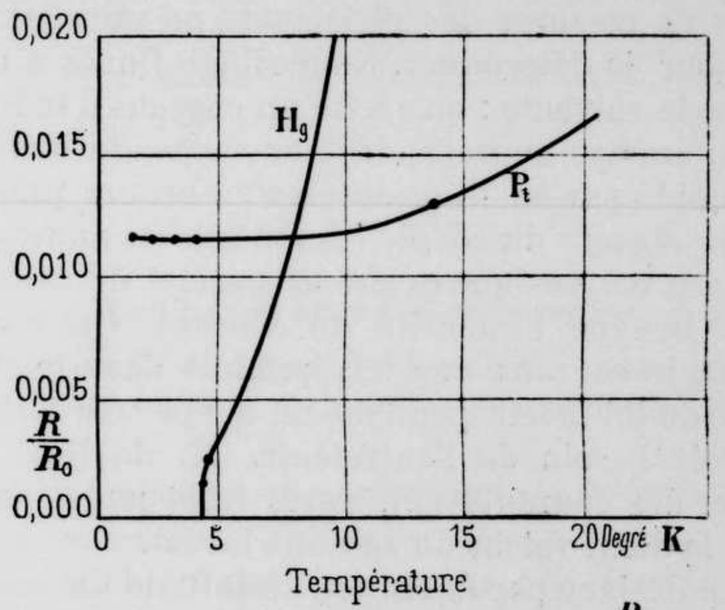


Fig. 1. — Courbes de la variation du rapport $\frac{R}{R_0}$ en fonction de la température absolue : Pt, pour le platine ; Hg, pour le mercure.

dit également que le métal est devenu supraconducteur.

La même propriété fut peu après constatée sur le plomb, l'étain, le thallium, l'indium, etc.

Depuis cette époque le phénomène de la supraconductibilité a été étudié d'une manière continue au célèbre laboratoire frigorifique créé à Leyde par Kamerlingh Onnes (1).

Ces recherches ont révélé que la supraconductibilité est un phénomène extrêmement complexe, mais susceptible de fournir des renseignements intéressants sur la structure des métaux et sur le mécanisme de la con-

(1) Depuis la mort de Kamerlingh Onnes, le laboratoire frigorifique de Leyde a été divisé en deux sections : l'unes dirigée par le professeur Keesom, est spécialisée dans les recherches thermodynamiques, tandis que l'autre, sous la direction du professeur de Haas, s'occupe des recherche, électriques, magnétiques et magnétooptiques.

ductibilité électrique. Bien que son étude soit loin d'être terminée, les résultats obtenus forment déjà un ensemble très imposant dont nous nous proposons de dégager brièvement les points les plus importants (1).

II. **Point de transition**. — Kamerlingh Onnes a donné à la température pour laquelle la résistance disparaît le nom de « point de transition ». Cependant l'état supraconducteur ne s'établit pas, comme on le croyait au début, d'une manière absolument brusque. Sans doute le passage entre une résistance nulle et une valeur finie de celle-ci se fait-il sur un très faible intervalle de température, mais il est cependant continu. Il n'y a pas un point de transition, à proprement parler, mais plutôt une courbe de transition le long de laquelle la résistance diminue très rapidement entre deux températures très voisines.

III. **Résistance résiduelle**. — Un point important est de savoir si la résistance devient exactement nulle ou conserve une valeur résiduelle.

Comme la résistance, si elle n'est pas rigoureusement nulle, est à coup sûr extrêmement faible, les méthodes usuelles de mesures des résistances ne sauraient convenir pour la déterminer. Kamerlingh Onnes a utilisé la méthode suivante : on excite un courant d'induction dans un anneau supraconducteur suspendu dans l'hélium liquide par un fil de torsion en bronze phosphoreux. La mesure du couple exercé sur cet anneau par un champ magnétique extérieur permet de calculer à chaque instant l'intensité du courant. On constate ainsi que le courant une fois produit dans le circuit persiste de lui-même pendant un temps très long sans qu'il soit besoin de l'entretenir. M. de Haas a pu observer des courants qui, après trois jours, avaient encore la demi-valeur du courant initial.

Si l'on désigne par i_0 l'intensité initiale du courant, par i sa valeur à l'instant t, par L le coefficient de self-induction de l'anneau et par r sa résistance, on a

$$i = i_0 \, e^{-\frac{L}{r} t}.$$

Les premières expériences de Kamerlingh Onnes avaient fourni comme valeur de la résistivité résiduelle du plomb supraconducteur celle de $0{,}5 \times 10^{-10}$ fois la résistivité à 0°C. Mais plus tard, il a été amené à reculer cette limite et à conclure que la résistivité du plomb dans l'état supraconducteur ne peut être supérieure à 10^{-12} fois sa valeur à 0°C.

La conductibilité des supraconducteurs est telle que le cuivre se comporte, par comparaison, comme un bon isolant. On peut, indique M. de Haas (2), recouvrir un fil de plomb d'une mince couche de cuivre et l'enrouler en une bobine. Plongés dans le bain d'hélium liquide, les fils de plomb de la bobine sont très bien isolés les uns des autres par le cuivre.

Kamerlingh Onnes a proposé le nom de « courants d'Ampère » pour désigner les courants persistants qu'il a observés dans les circuits supraconducteurs. On sait qu'Ampère avait, en effet, émis l'hypothèse que le champ magnétique à l'intérieur d'un aimant est dû à l'action d'un grand nombre de petits courants circulant à l'intérieur des molécules dans des circuits supposés sans résistance, ce qui leur permet de se maintenir indéfiniment. Des objections ont été faites à cette hypothèse, au cours du dix-neuvième siècle, par de nombreux physiciens qui n'admettaient pas l'existence de circuits sans résistance à l'intérieur desquels des courants pourraient se maintenir en dehors de toute force électromotrice. On voit que les expériences de Kamerlingh Onnes permettent d'imiter d'une manière très parfaite les courants imaginés par Ampère.

IV. **Influence de la densité du courant et du champ magnétique**. — On peut faire traverser les fils supraconducteurs par des courants énormes, de l'ordre de 1000 A : mm² pour le plomb, sans qu'il se produise un dégagement de chaleur appréciable. Comme l'écrit M. de Haas, « on voit qu'on pourrait faire une transmission d'énergie à très bon marché si tout le monde était immergé dans l'hélium liquide ».

Cependant, si l'on fait croître de plus en plus l'intensité du courant électrique, on constate qu'il existe une valeur limite de l'intensité dite « valeur seuil du courant » qu'on ne peut dépasser sous peine de faire perdre au métal son état supraconducteur. Ainsi, au-dessous de la valeur « seuil », il ne se produit aucun dégagement de chaleur appréciable; mais dès qu'on dépasse cette valeur, le dégagement de chaleur apparaît brusquement et le métal perd sa supraconductibilité. Cette valeur seuil du courant s'abaisse avec la température.

De même, un métal perd sa supraconductibilité lorsqu'on le soumet à l'action d'un champ magnétique suffisamment intense. Cela se produit pour le plomb dans un champ de 600 gauss environ et pour l'étain, dans un champ beaucoup plus faible.

Silsbee a suggéré qu'il doit y avoir une relation entre le trouble apporté à la supraconductibilité par une forte densité du courant et celui que provoque l'action d'un champ magnétique. D'après lui, la valeur seuil du courant doit représenter l'intensité du courant pour laquelle le champ magnétique produit par le courant est égal à la valeur du seuil magnétique. En réalité, comme on le verra plus loin, il se produit des phénomènes d'hystérésis qui dépendent à un haut degré de l'état cristallin de la matière employée, ce qui complique un peu l'hypothèse émise par Silsbee. Cependant, il semble bien que l'on puisse en conserver le principe et admettre que l'action perturbatrice produite par l'intensité du courant tient au champ magné-

(1) M. de Haas nous a très aimablement communiqué les renseignements les plus complets sur l'état actuel des recherches relatives à la supraconductibilité et nous tenons à lui exprimer ici toute notre reconnaissance.

(2) W.-J. DE HAAS. *Revue universelle des Mines*, 15 novembre 1929, t. II (8e série), n° 10.

tique qui accompagne le courant. On conçoit alors qu'il soit possible de compenser cette action perturbatrice en appliquant un champ magnétique qui s'oppose au champ propre du courant. C'est ce qu'établit l'expérience suivante réalisée par Tuyn et Kamerlingh Onnes (1). Sur un tube de verre qui contient un fil de plomb supraconducteur C on enroule une bande d'étain B (fig. 2). A une température à laquelle l'étain est devenu supraconducteur on lance à travers B un courant d'intensité telle que la supraconductibilité

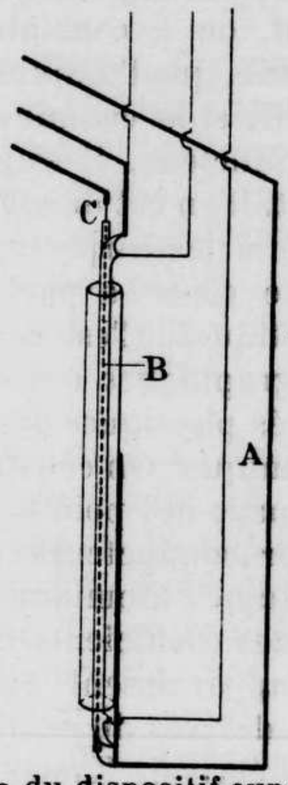


Fig. 2. — Croquis du dispositif expérimental de Tuyn et Kamerlingh Onnes.

soit troublée et qu'il se produise une différence de potentiel mesurable entre les deux extrémités. Si ensuite on lance à travers C un courant de sens contraire, de façon que les champs de C et de B se contrarient mutuellement, et qu'on fasse croître ce courant graduellement à partir de zéro, tout en maintenant constant le courant passant par B, on voit la différence de potentiel aux extrémités de B diminuer peu à peu et finir par s'annuler. L'action perturbatrice du courant dans B est alors complètement compensée par une cause purement magnétique, de sorte, indiquent de Haas et Tuyn, qu'il est tout naturel d'admettre que cette action perturbatrice provient du champ magnétique du courant.

Le champ seuil est, en première approximation, une fonction linéaire de la température dont la constante est sensiblement la même pour les diverses substances. « Ce qui semble surtout mystérieux, écrivait Lorentz, c'est la réapparition d'une résistance sous l'influence d'une champ magnétique dont l'intensité dépasse une limite déterminée. »

Aussi ce phénomène a-t-il fait ces dernières années l'objet d'un très grand nombre de recherches. On a alors constaté que la supraconductibilité ne disparaît pas brusquement pour une certaine valeur du champ.

(1) W. J. de Haas, W. Tuyn, G. J. Sizoo et J. Woogd. *Rapports et Communications présentées au cinquième Congrès international du Froid*. Rome, avril 1928.

Si l'on fait agir sur le circuit supraconducteur des champs progressivement croissants, la résistance apparaît progressivement, bien qu'au voisinage de certaines valeurs une variation faible du champ entraîne un accroissement très considérable de la résistance.

M. de Haas désigne sous le nom de « courbe de transition magnétique » la courbe qui dans le diagramme de résistance et intensité du champ représente le passage de l'état supraconducteur à l'état ordinaire.

En étudiant l'influence des déformations élastiques sur le trouble magnétique, M. de Haas a obtenu des résultats assez singuliers que traduit la figure 3 : la courbe de transition de l'état de résistance normale à

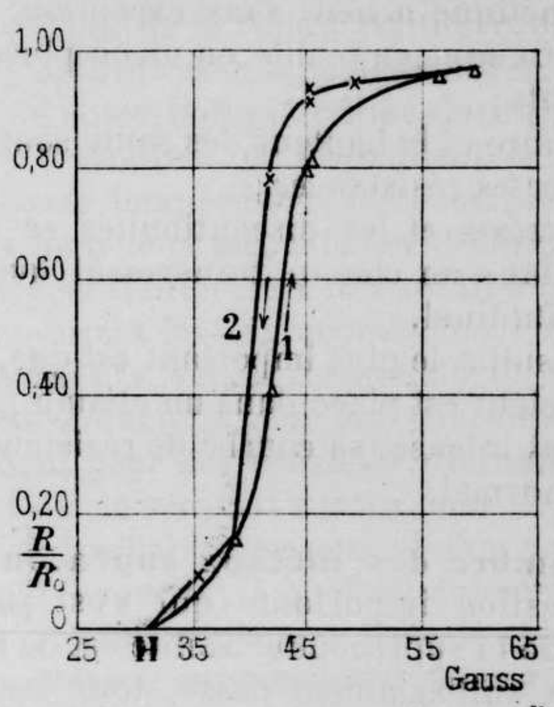


Fig. 3. — Courbes de la variation du rapport $\frac{R}{R_0}$ d'un supraconducteur soumis à l'action d'un champ magnétique croissant (courbe 1) et décroissant (courbe 2).

l'état supraconducteur est composée de deux branches, l'une ascendante et l'autre descendante, l'ensemble rappelant la forme d'une courbe d'hystérésis.

C'était là un résultat extrêmement curieux, mais comme il avait été observé tout d'abord sur l'étain dont la purification présente des difficultés, on pouvait se demander s'il ne tenait pas à la présence d'impuretés ; aussi M. de Haas reprit-il les expériences en opérant sur du mercure complètement exempt de fer et amené par plusieurs distillations dans un état de grande pureté. « De cette manière, écrit l'auteur, il a été possible d'établir que, non seulement l'hystérésis existe réellement, mais encore que les tracés de la perturbation magnétique présentent des discontinuités très nettes. Ce phénomène, ajoute-t-il, nous a paru d'une grande importance et nous fit consacrer beaucoup de temps à la découverte de la nature de ces discontinuités. L'ensemble des résultats nous conduisit finalement à la conclusion que ces variations brusques de résistance ne provenaient pas d'un changement de la résistance spécifique du mercure, mais plutôt que chaque saut était dû à la disparition soudaine de la résistance d'une partie déterminée du fil de mercure. En termes plus précis, nous avons supposé que, par suite du lent refroidissement, le fil de

mercure dans le tube capillaire peut former un petit nombre de cristaux simples et que la disparition brusque de la résistance d'un tel cristal peut être la cause d'un saut ou quasi-saut dans la résistance. » (1)

L'ensemble des recherches de M. de Haas lui a permis de formuler les conclusions suivantes :

1° Pour toutes les résistances examinées on a constaté un effet d'hystérésis dans l'influence d'un champ magnétique sur la supraconductibilité ;

2° Le retour de la résistance par augmentation du champ magnétique se produit, en règle générale, d'une façon continue ;

3° La disparition de la résistance par diminution du champ magnétique a lieu, sans exception, d'une manière discontinue et, en réalité, en un ou plusieurs sauts ou quasi sauts ;

4° Le nombre et la hauteur des sauts sont différents pour les diverses résistances ;

5° L'hystérésis et les discontinuités se produisent aussi bien dans un champ transversal que dans un champ longitudinal.

Mais le résultat le plus important est que, quand un supraconducteur est placé dans un champ magnétique suffisamment intense, sa courbe de résistance est celle d'un métal normal.

V. Le nombre des métaux supraconducteurs. — Une question importante qui s'est posée dès la découverte de la supraconductibilité est de savoir si, à température suffisamment basse, tous les corps qui conduisent l'électricité deviennent supraconducteurs, ou s'il n'y a qu'un petit nombre de corps qui présentent cette propriété. Au début des recherches on inclinait généralement à penser qu'à l'état pur tout métal pouvait devenir supraconducteur pour une température suffisamment basse. On attribuait l'échec des expériences tentées en vue de rechercher la supraconductibilité des divers métaux à la présence d'impuretés donnant naissance à des solutions solides avec le métal. Les recherches ultérieures de Tuyn et de Kamerlingh Onnes ont conduit peu à peu à modifier cette opinion et ont amené à penser que le nombre d'éléments supraconducteurs est très limité.

La supraconductibilité n'a été constatée que sur un petit nombre de métaux : le mercure, le plomb, le radium C, l'étain, le thallium, tout récemment l'indium (élément qui se rapproche de l'étain par plusieurs de ses propriétés) et le gallium. Ni le sodium, ni le potassium, ni l'aluminium ne deviennent supraconducteurs.

Nous donnons ci-dessous la liste des métaux dont la supraconductibilité a été reconnue avec la valeur des températures de transition

Plomb	7,2° K
Mercure	4,2°
Indium	3,4°
Etain	3,2°
Thallium	2,47°
Gallium	1,07°

(1) W.-J. de Haas. *Revue universelle des Mines*, 15 novembre 1929, t. II (8e série), n° 10.

Des études systématiques ont été faites pour rechercher si la supraconductibilité n'existerait pas sur d'autres métaux. En réalité, elle semble constituer un phénomène assez exceptionnel. « Il faut déjà, écrivait Kamerlingh Onnes, une raison spéciale de penser qu'un métal peut devenir supraconducteur pour en entreprendre l'examen. » (1)

Dans le tableau de Mendelejeff, en remontant dans les colonnes du mercure, du thallium et du plomb, on arrive au cadmium, à l'indium, au gallium. Il était naturel de rechercher la supraconductibilité sur ces corps. Effectivement, on a constaté, ainsi que nous l'avons déjà mentionné, que l'indium et le gallium sont supraconducteurs. Et si le cadmium ne devient pas nettement supraconducteur, il s'approche cependant beaucoup de cet état. Il en est de même pour l'or.

On s'est demandé si les corps supraconducteurs ne formeraient pas une classe à part, tout comme les métaux ferromagnétiques. C'est ce que semble indiquer l'examen des graphiques qui représentent la variation des propriétés physiques des éléments en fonction du numéro atomique. On constate de légères perturbations au voisinage des points qui correspondent aux éléments supraconducteurs dans les courbes représentant les volumes atomiques, les inverses des points de fusion et des coefficients de compressibilité. Des particularités apparaissent également dans les schémas atomiques dérivés du modèle de Rutherford-Bohr. « Il semble, écrivait Kamerlingh Onnes, qu'il faille les 18 électrons et même les 18 supportés par les 32, pour arriver à la supraconductibilité. Le nombre des électrons de valence ne peut pas être élevé : le bismuth ne devient pas supraconducteur. L'atome doit se trouver, quant à sa formation, dans le commencement du développement d'une nouvelle couche ; il faut qu'il y ait au moins deux électrons de valence ; un seul électron ne suffit pas pour donner l'harmonie nécessaire ; l'or ne devient pas supraconducteur. »

D'une manière un peu analogue, M. de Haas écrit : « Il est curieux que les atomes des métaux supraconducteurs portent 2, 3 ou 4 électrons dans la couche extérieure. Un électron ne suffit pas pour former un supraconducteur, 5 est un nombre trop grand. De plus, la couche de Bohr plus basse est bien d'une façon homogène remplie de 18 électrons. »

Tout récemment, le professeur de Haas, avec la collaboration de M. van Aubel, de Gand, et de M. Woogd, de Leyde, a effectué de très intéressantes recherches sur la supraconductibilité des alliages. Ces savants ont étudié les combinaisons d'un métal supraconducteur avec un autre non supraconducteur et constaté dans certains cas l'existence de la supraconductibilité ; comme exemple de combinaisons présentant le plus nettement cette propriété, on peut citer Sb Sn et Bi^5 Tl^3. De même, les solutions solides de métaux non supraconducteurs et de métaux supraconducteurs peuvent présenter la supraconductibilité ; les auteurs l'ont

(1) *Conductibilité électrique des métaux et problèmes connexes*, Paris, Gauthier-Villars, p. 266 (1927).

constatée notamment dans les alliages eutectiques des systèmes étain-bismuth, étain-cadmium, étain-zinc, thallium-cadmium, thallium-or.

Mais le fait le plus curieux, tout récemment découvert, est l'existence de la supraconductibilité dans des alliages dont aucun des constituants pris isolément n'est supraconducteur. Ainsi M. de Haas et ses collaborateurs ont observé la supraconductibilité d'un alliage d'or et de bismuth. Ils attachent la plus grande importance à cette découverte et ils poursuivent activement la recherche de cas analogues.

VI. **Influence de divers facteurs sur la supraconductibilité.** — 1. Influence de l'état cristallin. — La nature du réseau cristallin exerce, comme on le sait, une grande influence sur beaucoup de propriétés physiques des métaux. Aussi était-il intéressant de rechercher s'il ne modifierait pas la supraconductibilité. Les recherches ont porté sur l'étain facile à obtenir sous deux états allotropiques : l'étain ordinaire et l'étain gris.

Les expériences relatives à l'étain gris ont été compliquées par l'état granulaire du produit. Elles ont porté tout d'abord sur un bâtonnet d'étain granulaire obtenu par compression dans un tube d'ivoire ; les mesures de résistance faites jusqu'à 1,2° K n'ont révélé aucune supraconductibilité. Les essais tentés pour constater l'existence d'un courant persistant qui établirait la supraconductibilité ont également fourni des résultats négatifs jusqu'à 1,8° K, en sorte qu'il semble que la supraconductibilité, si nette pour l'étain ordinaire, ait disparu pour l'étain gris.

On considère habituellement à la suite des développements théoriques de Kramers qu'une liaison atomique lâche et une grande distance entre les atomes sont favorables à l'apparition de la supraconductibilité.

L'absence de supraconductibilité constatée sur l'étain gris, qui constitue une variété moins dense que l'étain ordinaire, semble bien indiquer que les phénomènes sont en réalité plus complexes.

2. Influence d'une déformation élastique. — Kamerlingh Onnes a signalé, dès le début de ces recherches, l'influence qu'exercent les déformations élastiques sur la supraconductibilité. Il avait constaté qu'un fil d'étain soumis à une traction de 2 à 3 kg par millimètre carré devient supraconducteur plus tôt qu'un fil normal, c'est-à-dire à une température plus élevée.

En poursuivant cette étude, on a pu montrer qu'une compression élastique a précisément l'effet inverse. Ces faits semblent s'accorder avec l'hypothèse émise par Kamerlingh Onnes qu'une distance relativement grande entre les atomes est favorable à l'apparition de la supraconductibilité, alors qu'une faible distance lui est défavorable.

3. Influence de l'isotopie. — On s'est demandé si des éléments isotopes présenteraient la même supraconductibilité. Les expériences ont porté sur le plomb ordinaire et le plomb d'uranium. On a constaté ainsi que ces deux variétés isotopiques du plomb ont le même point de transition (7,2° K), à un quart de degré près.

VII. **La supraconductibilité et les autres phénomènes.** — Bien des points restent encore à préciser sur la supraconductibilité et les nombreuses théories proposées pour en rendre compte sont loin d'apparaître comme satisfaisantes.

Divers physiciens, au quatrième Conseil de l'Institut international de Physique Solvay (Bruxelles, 1924), ont insisté sur ce fait que le phénomène de la supraconductibilité et celui de la conductibilité ordinaire semblent être de nature essentiellement différente. « Il est intéressant de noter, indiquait Mme Curie, que les bons conducteurs ordinaires ne deviennent pas supraconducteurs à basse température. Cela semble déjà prouver qu'il y a bien deux mécanismes différents. » (1)

Debye a signalé l'intérêt qu'il y aurait à étudier comment se comportent les supraconducteurs vis-à-vis des courants alternatifs. « Il est certain, dit-il, qu'un métal qui est supraconducteur pour des courants continus le sera également pour des courants alternatifs de faible fréquence. Mais le sera-t-il encore pour de hautes fréquences ? Il est probable que non, et l'on pourrait donc chercher, par exemple, à quelle fréquence le plomb cesse d'être supraconducteur. L'étude des propriétés optiques des métaux supraconducteurs sera sans doute intéressante aussi. » (2)

M. Picard a fait un curieux rapprochement entre la supraconductibilité et la foudre globulaire : « Je voudrais faire remarquer, dit-il, que la supraconductibilité existe peut être à la température ordinaire, dans un phénomène rare, il est vrai, mais dont la réalité ne peut plus être mise en doute : c'est la foudre en boule.

» L'accumulation d'une quantité relativement grande d'énergie dans un volume restreint en l'absence de masse pondérable, qu'il paraît réaliser, ne peut en effet s'expliquer que par l'énergie de la self induction d'un courant considérable circulant dans une orbite à très faible résistance. Si les occasions d'observer le phénomène n'étaient pas aussi extraordinairement rares, on pourrait mettre cette idée à l'épreuve en jetant un aimant dans la direction d'un éclair globulaire. Si celui-ci est équivalent à une bobine de self-induction, il doit avoir une tendance à s'embrocher sur l'aimant. » (3)

VIII. **Relation entre la supraconductibilité et la variation de résistance électrique dans les champs magnétiques intenses.** — En faisant passer pendant un temps extrêmement court des courants très

(1) *Conductibilité électrique des métaux et problèmes connexes.* Paris, Gauthier-Villars, p. 300 (1927).
(2) *Idem.*, p. 292.
(3) *Idem.*, p. 301.

intenses dans un solénoïde, on sait (1) que Kapitza est parvenu à réaliser des champs magnétiques instantanés d'une très grande intensité dépassant couramment 300 000 gauss.

Ayant étudié comment varie la résistance électrique des métaux en fonction du champ, il a obtenu des résultats d'une grande importance théorique qui semblent se rattacher étroitement à la supraconductibilité.

La courbe de la figure 4 représente pour le bismuth comment varie en fonction du champ magnétique H le quotient $\frac{\Delta R}{R}$ de l'accroissement de la résistance R dû à l'action du champ magnétique H par la valeur R_0

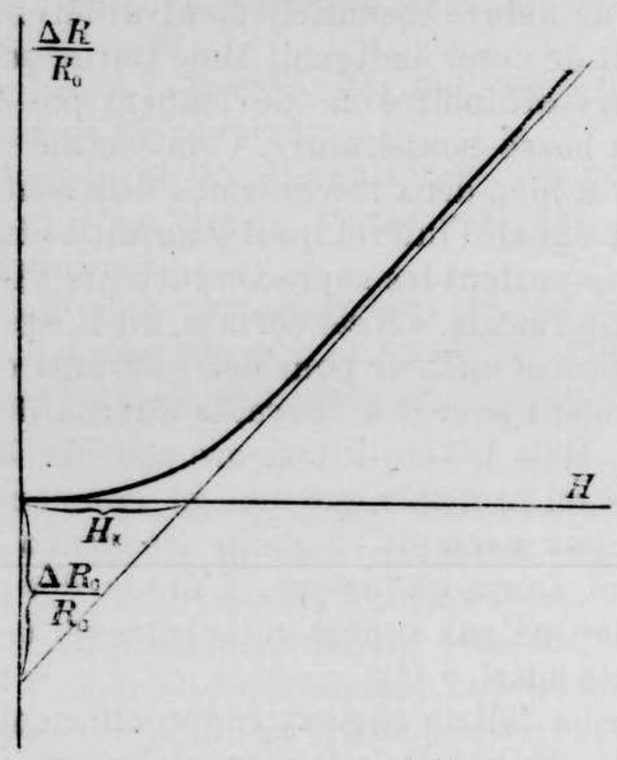


Fig. 4. — Courbe de variation de $\frac{\Delta R}{R_0}$ en fonction de H.

que possède la résistance en dehors du champ (le champ étant appliqué perpendiculairement au courant).

Les courbes fournies par le bismuth dans les conditions les plus diverses et par les autres métaux ont la même forme générale. Elles comportent une branche initiale d'allure parabolique où la variation de résistance est proportionnelle au carré du champ, suivie d'une branche rigoureusement rectiligne où la variation en fonction du champ est linéaire.

Dans leur partie initiale, toutes les courbes suivent approximatixement la loi parabolique

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \alpha H^2,$$

et dans leur partie finale, la loi linéaire

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \beta H,$$

(1) Sur l'exposé des recherches de M. Kapitza et les conséquences théoriques qu'elles comportent voir : Léon Bloch ; **La résistance électrique des métaux dans le champ magnétique.** *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 15 mars 1930, t. XLI, p. 135-145, analysé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 31 mai 1930, t. XXVII, p. 851-855.

R_0 désignant la résistance initiale, ΔR, l'accroissement de résistance produit par le champ. On peut caractériser chaque courbe par les valeurs des coefficients α et β et par celle du champ magnétique critique H_k pour lequel la courbe cesse de suivre la loi parabolique pour passer à la loi linéaire ; la valeur du champ H_k fournie par l'abscisse du point d'intersection de l'asymptote avec l'axe des champs varie beaucoup avec les métaux (de 5 à 250 kilogauss).

Pour interpréter ces résultats, Kapitza a admis qu'il existait initialement dans le métal une cause perturbatrice représentable par un vecteur h agissant à la façon d'un champ magnétique ordinaire dont l'orientation serait distribuée au hasard et qui constituerait une sorte de champ perturbateur interne. En présence d'un champ magnétique extérieur H, la variation réelle de résistance représente l'action produite par la résultante du champ directement appliqué H avec le champ perturbateur h. Quand la perturbation produite par le champ extérieur devient grande par rapport à celle due au champ interne, on s'approche de plus en plus de la loi linéaire.

Kapitza a été ainsi amené à considérer que la résistance d'un conducteur se présente, en dehors de tout champ magnétique, comme la somme de deux termes : l'un qu'on peut appeler la « résistance idéale, » qui est celle qu'aurait le conducteur si le champ perturbateur h n'existait pas, et l'autre dite « résistance additionnelle », qui est celle produite par un champ perturbateur. La résistance additionnelle R_a est fournie par l'ordonnée à l'origine de l'asymptote à la courbe donnant la variation de la résistance en fonction du champ (cette ordonnée à l'origine $\frac{\Delta R_0}{R_0}$ n'est autre que le quotient $\frac{R_a}{R_0}$).

Des mesures faites par Kapitza il résulte que la résistance additionnelle R_a d'un fil métallique dépend, à un haut degré, de l'état physique et mécanique de ce fil, tandis que la résistance idéale R_i en est à peu près indépendante et paraît constituer, pour chaque température, une constante spécifique du métal.

La résistance additionnelle varie dans des limites restreintes lorsque l'on passe de la température ordinaire à celle de l'air liquide, tandis que la résistance idéale serait une fonction très rapidement décroissante de la température (sans doute exponentielle).

La résistance additionnelle se rapproche, par beaucoup de caractères, de la résistance limite qu'atteint un conducteur lorsqu'on le refroidit à la température de l'hydrogène liquide. Nous avons vu que la courbe de résistance en fonction de la température présente un palier horizontal définissant ce qu'on peut appeler la résistance limite et que l'expérience montre être, comme la résistance additionnelle, très sensible à l'état physique de la substance, aux impuretés qu'elle renferme et à l'action mécanique qu'elle a subie. Il semble qu'il y ait identité entre cette résistance limite et la résistance additionnelle, comme le montrent les nombres du tableau suivant où l'on a indiqué pour les divers métaux les valeurs extrêmes de la résistance

limite $\frac{R_1}{R_0}$ obtenues par K. Onnes et W. Tuyn, pour divers échantillons d'un métal (R_1 résistance à une température T et R_0 résistance à la température de o°C) et les valeurs $\frac{R_a}{R_0}$ déduites des courbes de Kapitza.

Métal	Résistance limite $\frac{R_1}{R_0}$	Résistance additionnelle $\frac{R_a}{R_0}$
Cu.....	0,024 — 0,0015	0,023 — 0,018
Li.....	0,007	0,01
Ag.....	0,023 — 0,0054	0,015 — 0,013
Au.....	0,045 — 0,008	0,016 — 0,012
Zn.....	0,016 — 0,007	0,05 — 0,014
Cd.....	0,024 — 0,02	0,027 — 0,009
Hg.....	0,049	0,037
Al.....	0,06 — 0,04	0,024 — 0,011
In.....	0,06 — 0,03	0,032
Tl.....	0,03 — 0,029	0,0163
Sn.....	0,012 — 0,011	0,018
Pb.....	0,047 — 0,03	0,04
Pd.....	0,051 — 0,009	0,006
Pt.....	0,02 — 0,006	0,011

On voit par ce tableau que les métaux supraconducteurs (Ag, Tl, Sn, Pb, In) ne se distinguent pas des autres en ce qui concerne les comparaisons précédentes. Leur résistance additionnelle est tout à fait du même ordre de grandeur que la résistance limite qu'ils conservent jusqu'au seuil de la supraconductibilité.

Il semble légitime d'en conclure que la supraconductibilité doit consister essentiellement en la disparition de la résistance additionnelle R_a, la résistance se réduisant alors à ce que nous avons appelé la résistance idéale R_i. Ceci semblerait indiquer que, contrairement à ce qu'on avait supposé jusqu'ici, la supraconductibilité pourrait bien être un phénomène tout à fait général. Comme tous les métaux possèdent une résistance additionnelle, due à leur structure physique et chimique, qui disparaît aux très basses températures pour les métaux supraconducteurs, il est assez naturel de supposer que, si l'on savait supprimer cette résistance limite, tous les métaux deviendraient supraconducteurs. La disparition de la supraconductibilité que produit l'action d'un champ magnétique extérieur suffisamment intense s'accorde avec les conceptions précédentes, le champ extérieur H pouvant créer un commencement de résistance additionnelle tout comme le fait, dans les conditions ordinaires, le champ perturbateur h.

IX. **Les théories.** — La théorie la plus couramment admise pour interpréter la conductibilité des métaux est celle de Riecke et Drude. Elle consiste à admettre que les métaux sont des corps dont les atomes peuvent très facilement perdre un ou plusieurs électrons en se transformant en ions positifs doués d'une charge équivalente à celle des électrons perdus. Un équilibre s'établit entre les atomes, les ions et les électrons; ces électrons, souvent appelés « électrons libres », se meuvent en tous sens dans les espaces libres interatomiques et prennent, sous l'influence d'une différence de potentiel appliquée au conducteur, un mouvement d'ensemble qui constitue le courant électrique.

Cette théorie rend assez bien compte des propriétés ordinaires du courant électrique. Elle permet de retrouver les lois d'Ohm et de Joule; elle fournit une expression de la résistance qui est en bon accord avec les données expérimentales et elle conduit à retrouver la loi de Wiedemann et Franz relative à la proportionnalité entre la conductibilité électrique et la conductibilité calorifique. Toutefois, si elle rend compte en gros des principales particularités de la conductibilité des métaux, dans le détail il s'en faut qu'on puisse la considérer comme entièrement satisfaisante. Une difficulté signalée depuis longtemps est relative à la chaleur spécifique. Le principe de l'équipartition de l'énergie conduisant à attribuer la même énergie cinétique aux électrons libres qu'aux atomes d'un gaz pris à la même température, il s'ensuit que l'existence d'électrons libres devrait entraîner un accroissement de la chaleur spécifique des métaux, ce qui est incompatible avec ce fait que la loi de Dulong et Petit s'applique assez bien aux métaux à la température ordinaire. De plus, une élévation de température qui entraîne une dissociation plus intense des atomes et accroît le nombre des électrons libres devrait entraîner une amélioration de la conductibilité calorifique, ce qui n'a certainement pas lieu.

Mais c'est surtout en ce qui concerne l'interprétation de la supraconductibilité que la théorie classique apparaît comme tout à fait insuffisante. Dès le début on a signalé que ce phénomène obligeait à modifier les hypothèses admises par la théorie sur les collisions entre électrons et atomes. En particulier, indiquait Kamerlingh Onnes, il semble difficile de continuer à considérer comme rectiligne leur libre parcours. En les calculant à la manière ordinaire, avec les données de la supraconductibilité, on obtient des longueurs invraisemblables qui, dans quelques cas, sont plus de dix mille fois le diamètre des fils minces sur lesquels on a opéré. Même en n'utilisant, pour constituer un trajet, que les droites les plus longues qu'on puisse tirer à travers le conducteur et en supposant qu'en rencontrant la surface l'électron éprouve une réflexion parfaitement élastique, il faudrait encore mettre bout à bout plus de mille chemins pour obtenir le libre parcours calculé.

« On peut supposer, écrivait l'illustre savant hollandais, qu'il y a des circonstances dans lesquelles se forment des « filaments » de grande longueur, le long desquels l'électron, qui prend part à la conduction, peut glisser sur la surface des atomes et passer d'un atome à un autre sans transmettre de l'énergie aux degrés de liberté figurant dans l'équilibre statistique de l'agitation calorifique.

» Ces filaments peuvent avoir toutes sortes de formes, non seulement rectilignes, mais aussi courbées et même entortillées; ils ne sont pas toujours

constitués par les mêmes atomes et peuvent avoir des ramifications de tous les côtés, rendant nécessaire que l'électron rebrousse peut-être chemin et avance par des mouvements de va-et-vient pour qu'il trouve, en poursuivant son chemin, toujours réalisées les conditions du contact supraconducteur. En parcourant ce chemin, l'électron accumule le travail électrique d'une manière que nous pouvons nommer *adiabatique*. »

Aussi, pour rendre compte de la supraconductibilité, a-t-on songé à faire intervenir d'autres théories des métaux. Une théorie, développée par Lindemann, considère les électrons de conductibilité comme formant un réseau cristallin parallèle à celui des atomes du métal et entrelacé en quelque sorte avec celui-ci.

« Les électrons seraient liés à des positions d'équilibre aux nœuds du réseau et leurs fréquences propres seraient assez élevées, en raison de la faible masse des électrons, pour qu'aux températures ordinaires ce réseau ne participe pas appréciablement à l'agitation thermique. Ainsi se comprendrait l'absence de capacité calorifique correspondant à la présence de ces électrons.

» ... L'effet photoélectrique résulterait de l'action du rayonnement sur ces électrons qui l'absorberaient par quanta et l'effet thermoionique serait l'effet photoélectrique produit par le rayonnement thermique.

» La conductibilité électrique résulterait d'un déplacement d'ensemble du réseau électronique par rapport au réseau atomique. Ce déplacement, gêné par l'agitation thermique, deviendrait particulièrement facile aux très basses températures en donnant lieu aux effets de supraconductibilité. » (Langevin).

Ainsi la théorie de Lindemann permettrait de comprendre la supraconductibilité par glissement du réseau des électrons par rapport à celui des atomes : « En l'absence d'agitation thermique de ce dernier réseau, écrit Langevin, il n'y aurait aucune dissipation d'énergie liée à ce glissement qui, une fois lancé, pourrait durer pendant un temps très long. La température où apparaît la supraconductibilité serait celle pour laquelle, en vertu des conditions de quanta, l'agitation thermique des atomes disparaît à peu près complètement et la théorie prévoit une variation très rapide au voisinage d'une température critique liée à la période propre limite des oscillations du réseau atomique. »

Mais l'existence de la supraconductibilité conduit beaucoup de physiciens à rejeter l'hypothèse même de l'existence d'électrons libres au sein des métaux. « Lorsqu'on analyse de près les phénomènes de la supraconductibilité, on a l'impression, écrit M. de Haas, que le changement de conductibilité qui se produit au voisinage du zéro absolu n'a rien à voir avec des parcours libres d'électrons. » (1) Dès 1914, le même auteur indiquait que l'électron devait passer directement d'atome à atome. Cette hypothèse a été reprise depuis par un certain nombre de physiciens. On peut la rapprocher de celle développée récemment par le physicien anglais Barlow. Comme la précédente, elle revient à admettre qu'il n'existe pas d'électrons libres dans les métaux, chaque atome possédant toujours le nombre normal d'électrons qui lui correspond et ne pouvant en abandonner un que s'il en reçoit un autre d'un atome voisin. Sous l'action d'une différence de potentiel, les électrons passeraient ainsi d'un atome à l'atome voisin et c'est ce passage qui constituerait le courant électrique. Dans les conditions ordinaires, les atomes ne se touchant pas, ce passage nécessiterait une absorption d'énergie qui se retrouverait sous forme de chaleur due à l'effet Joule. Mais à température suffisamment basse, les atomes arrivent à se toucher par leur chaîne d'électrons périphériques ; le passage d'un électron d'un atome à un autre se fait alors sans dépense de travail et il y a supraconductibilité.

Il importe d'ailleurs de mentionner, en terminant, que toutes ces théories paraissent bien fragiles, si on songe aux résultats expérimentaux établis par Kapitza, relativement à l'influence des champs magnétiques extrêmement intenses sur la résistance électrique des métaux et aux considérations théoriques qu'il a développées pour les interpréter. Si, comme le pense Kapitza, la résistance d'un métal doit être considérée comme la somme de deux termes, l'un constituant la résistance idéale variant d'une manière continue avec la température sans éprouver aucune variation brusque, même à la température où apparaît la supraconductibilité, et l'autre appelée résistance additionnelle qui s'annulerait en l'état supraconducteur, il semble prématuré, comme l'écrivait récemment M. Léon Bloch, de substituer aux théories actuelles, certainement incorrectes, une théorie nouvelle tant que nous ne connaîtrons pas avec plus de précision les lois que suit la résistance idéale des divers métaux.

A. Boutaric.

(1) W.-J. de Haas. *Le Journal de Physique et le Radium*, septembre 1928, t. IX (6e série), p. 265-277

Bibliographie.

1. W. Tuyn et H.-Kamerlingh Onnes; Le trouble produit dans la supraconductivité par des champs magnétiques et des courants. L'hypothèse de Silsbee. *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*, série III, A, 1927, t. X, p. 224.

2. Silsbee; Current distribution in supraconductors. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, n° 556, 4 août 1927.

3. Edm. van Aubel, W. Y. de Haas et J. Woogd; New superconductors. *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam Proceedings*, 1929, t. XXXII, n° 2.

4. W. de Haas, Edm. van Aubel et J. Woogd; Ein aus zwei Nicht-Supraleitern zusammengesetzter Supraleiter. *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam Proceedings*, 1929, t. XXXII, n° 2.

5. W. de Haas et J. Woogd; On the resistance hysteresi phenomena of tin, lead, indium and thallium at the temperature of liquid helium. *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam Proceedings*, 1929, t. XXXII, n° 2.

6. W. de Haas et J. Woogd; On the superconductivity of Gallium. *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam Proceedings*, 1929, t. XXXII, n° 2.

Revues, analyses et informations

Mesure des constantes diélectriques des milieux conducteurs (1).

1. Principe de la méthode. — La méthode décrite dans ce travail semble être la plus simple et la plus précise qui puisse être appliquée dans le cas de milieux possédant la conductivité d'une solution saline diluée, et dont on ne possède qu'une faible quantité. Elle présente, de plus, un certain intérêt, par suite de ses rapports avec le comportement des circuits aux fréquences élevées.

La méthode est basée sur l'emploi d'un petit résonateur rigide qui puisse être immergé entièrement dans le liquide à étudier. Au lieu d'accorder, comme d'habitude, le résonateur à l'oscillateur, on fait exactement l'inverse, c'est-à-dire que la fréquence de l'oscillateur est modifiée jusqu'à ce que l'on obtienne la correspondance de cette dernière à la période naturelle du résonateur, d'abord dans l'air, puis dans le liquide. La constante diélectrique du liquide en résulte.

Après quelques tâtonnements, on a pu trouver un modèle compact de résonateurs entièrement métalliques ayant des périodes naturelles de la grandeur désirée. La période d'un résonateur diminue avec sa taille, et, pour un résonateur donné, elle est naturellement plus grande dans les liquides de plus grande constante diélectrique. Des résonateurs ayant une fréquence de 10^8 p : s environ, dans l'eau, sont assez petits pour pouvoir être immergés sans inconvénients dans 15 à 20 cm³ de liquide, le nombre des lignes de force qui échappent au liquide étant négligeable.

2. Position du problème. — Il s'agit de connaître la relation entre la période naturelle d'un résonateur et la constante diélectrique du milieu environnant. On sait que, si l'on peut traiter un circuit comme composé d'une capacité C et d'une inductance L réparties, une résistance R étant disposée en série, son impédance passe par un minimum pour une fréquence, qui est la fréquence de résonance, donnée par

$$\frac{2\pi}{T} = \omega = \frac{1}{(LC)^{1/2}}$$

correspondant à la période naturelle T du circuit. Si C_0 est la capacité du circuit dans l'air et C, sa capacité dans un milieu de constante diélectrique ε, on a

$$C = \varepsilon C_0,$$

et si T_0 et T sont les périodes naturelles correspondantes, on aura

$$\varepsilon = \frac{T^2}{T_0^2} = \frac{\omega_0^2}{\omega^2}. \qquad (1)$$

Les résonateurs employés ne peuvent être traités rigoureusement de cette façon simple ; néanmoins, il apparaît que, si l'on peut négliger la conductivité du milieu, on peut encore utiliser l'équation (1) pour calculer sa constante diélectrique ; et en effet, les résultats obtenus pour l'eau, en faisant cette hypothèse, sont en accord entre eux et avec ceux fournis par d'autres méthodes. Les mesures effectuées sur l'eau étaient faites à diverses fréquences avec des résonateurs variés, les uns de forme cylindrique, les autres en spirales. Les valeurs de ε à 25° C oscillent entre 78,42 et 78,70, c'est-à-dire entre des valeurs très rapprochées, la valeur moyenne 78,54 étant voisine de celle obtenue par d'autres méthodes.

3. Considérations expérimentales. — Il convient de remarquer qu'il n'est pas toujours possible de déterminer directement $\omega_0 = 2\pi\nu_0$. Si ν, fréquence du résonateur dans l'eau, est supérieure à environ $1{,}4 \times 10^7$ p : s, $\nu_0 = \varepsilon^{1/2}\nu$ sera supérieure à 12×10^7 p : s et dépassera la limite de fréquence de l'oscillateur. Dans ce cas, on peut cependant obtenir aisément ν_0, en déterminant la fréquence ν_1 dans un liquide 1 dont la constante diélectrique est mesurée au moyen d'un résonateur dont la fréquence ν_0 est connue directement.

L'oscillateur à lampe est du type usuel. Les oscillations s'établissent entre la plaque et la grille ; leur fréquence est réglée par l'emploi d'inductances interchangeables et d'un condensateur tournant à vernier. La fréquence de l'oscillateur est déterminée par rapport à celle d'un cristal de quartz, selon une méthode décrite par Pierce. L'oscillateur est couplé en permanence, inductivement, avec le circuit du cristal, de façon à donner des battements audibles toutes les fois que sa fréquence s'égalise avec celle de l'un des harmoniques du cristal. Ces harmoniques servent d'étalons de fréquence et sont aisément identifiés au moyen d'un ondemètre. Les fréquences des états intermédiaires de l'oscillateur sont déterminées par interpolation graphique.

Dans les précédentes mesures, le critérium de la résonance est la réaction maximum du résonateur sur l'oscillateur. Le résonateur, suspendu par un fil fin dans le milieu en question, est placé dans le champ de l'oscillateur, à une distance de 15 à 50 cm de sa bobine. On fait alors varier la fréquence de l'oscillateur jusqu'à l'obtention d'une diminution brusque ou d'un brusque accroissement de l'intensité du courant de plaque. Cet effet sur le courant de plaque de l'oscillateur accompagne sans doute un changement rapide du courant oscillant lui-même, et il est pris comme indication du maximum de réaction. La fréquence correspondante de l'oscillateur est alors déterminée, selon la méthode qui vient d'être décrite, sans modifier les positions du résonateur et de l'oscillateur. On a, du reste, vérifié directement dans le cas de l'eau, ou d'un autre liquide peu conducteur, que la fréquence donnant la réaction maximum sur l'oscillateur est la même que celle qui donne le maximum d'intensité du courant dans le résonateur, correspondant à l'équation (1), en faisant usage d'un résonateur contenant un élément à fil chauffé. On a trouvé, par exemple, dans un essai avec l'eau, que le courant maximum induit dans le résonateur correspondait à une longueur d'onde de 5,125 m et que la réaction maximum sur l'oscillateur se produisait pour $\lambda = 5{,}124$ m. L'accord est excellent.

La précision de perception de la résonance est naturellement d'autant plus grande que la conductivité du milieu est plus faible. Dans le cas de l'eau distillée, l'erreur relative correspondante est d'environ 4/10000, pour la fréquence de résonance. Comme on doit faire deux déterminations, l'une dans l'air et l'autre dans l'eau, on peut admettre que la précision finale avec laquelle est obtenue la constante diélectrique de l'eau est d'environ 1/1000.

(1) J. Wyman. *The physical Review*, 15 mars 1930, t. xxxv (2e série), p. 623-634, 3 coo mots, 5 figures.

4. Cas de l'eau et des solutions salines diluées. — L'étude de l'eau a été faite pour diverses températures, entre 0°C et 100° C. Les résultats s'expriment, avec la même précision que les mesures, par l'équation

$$\varepsilon = 78{,}54\,[1 - 0{,}00460\,(t - 25) + 0{,}0000088\,(t - 25)^2] \quad (2)$$

où t est la température; cette relation est en bon accord avec celle de Drake, Pierce et Dow, et avec les résultats obtenus par d'autres auteurs.

Dans le cas des solutions salines diluées, les effets de la conductivité ne sont plus négligeables, et les complications surgissent pour les raisons suivantes: 1° les fréquences correspondant au maximum d'intensité de courant dans le résonateur et au maximum de réaction sur l'oscillateur sont alors différentes; 2° les résonateurs ne peuvent en général plus être traités comme des circuits à capacité, résistance et inductance réparties. Cependant, avec les plus petits résonateurs, on peut mesurer les constantes diélectriques de liquides d'une conductibilité environ cent fois plus grande que celle de l'eau distillée. — L. B.

Etude sur l'électrodéposition des métaux (1).

1. Introduction. — Le développement important de l'utilisation des métaux chromés a démontré l'utilité des recherches sur le dépôt électrolytique de métaux d'usage non courant. Avec le chrome, en particulier, on a obtenu des plaques dont la résistance à la corrosion est remarquable et il est probable que des résultats également très intéressants sont susceptibles d'être obtenus avec d'autres métaux. C'est l'exposé d'une étude entreprise dans ce sens, qui fait l'objet de cet article.

Cette étude a porté sur les métaux suivants : aluminium, béryllium, bore, chrome, tungstène, titane, vanadium et cérium.

2. Historique de la question. — Plusieurs tentatives ont été effectuées pour obtenir le dépôt électrolytique de l'aluminium. Le premier essai à basse température a été fait par Plotnikow en 1902 en partant d'un bain de bromure d'éthyle et de bromure d'aluminium. Patten a repris le procédé en 1904 en utilisant, avec des électrodes de platine, une tension de 9,7 v et une densité de courant de 0,058 a : cm². Les auteurs, en collaboration avec W. Klabunde et S.-J. Schicktary ont obtenu le dépôt d'aluminium en opérant à 100°C, avec une tension de 22,6 v et une densité de courant de 0,068 a : cm² et en utilisant une anode d'aluminium et une cathode de cuivre.

A la connaissance des auteurs, on ne trouve aucun travail sur le dépôt électrolytique du béryllium, du bore, du cérium et du titane. Pour le vanadium, ils n'ont trouvé qu'une étude de Cowper-Coles signalant la possibilité d'obtenir le métal en partant d'une solution de soude dans laquelle, après avoir dissous de l'acide vanadique, on a ajouté de l'acide chlorhydrique afin de neutraliser l'excès de soude.

La littérature sur le dépôt électrique du chrome en partant de solutions aqueuses est, par contre, très vaste. Cette question étant désormais entièrement mise au point, les auteurs l'ont entièrement écartée de leur étude; ils n'ont envisagé que l'électrodéposition du chrome en partant de solutions non aqueuses, méthode sur laquelle aucun travail n'avait encore été publié.

(1) Donald-B. Knyss et Sherlock Swann. *University of Illinois Bulletin*, 20 mai 1930, t. xxvii, p. 5-20, 6 500 mots.

Le tungstène paraît avoir élé obtenu en petite quantité par Fischer, en 1913, en électrolysant du chlorure de ce métal dans la glycérine et dans l'alcool absolu.

En 1924, Mann et Halvorsen n'obtinrent pas de bons résultats par une méthode analogue; ils ne purent obtenir le dépôt de tungstène qu'en électrolysant, à haute température, du chlorure de lithium au moyen d'une anode de tungstène. La même année des recherches furent entreprises par Neumann et Richter qui purent obtenir du métal en poudre, mais non un dépôt adhérent.

3. Méthodes d'électrodéposition des métaux considérés. — Les méthodes généralement employées dans l'industrie pour le dépôt électrolytique des métaux consistent à traiter des solutions aqueuses de leurs sels. Mais de telles solutions ne peuvent pas être utilisées pour tous les métaux. Pour l'aluminium et le magnésium, par exemple, on n'arrive à aucun résultat du fait que l'ion hydrogène de l'eau est séparé sous forme gazeuse avant que le potentiel soit suffisamment élevé pour produire le métal ou bien que le métal formé réagit immédiatement sur l'eau pour libérer l'hydrogène et donner à nouveau le métal de l'électrode.

D'autres méthodes, employées avec succès en métallurgie, exigent une température assez élevée de l'ordre de 550°C et on ne peut, dans ces conditions, obtenir un recouvrement de métal satisfaisant. En particulier, ces méthodes sont inapplicables avec les liquides organiques.

Il reste donc seulement, comme méthodes utilisables, l'électrolyse, à la température ordinaire, soit du sel métallique dissous dans un liquide organique, soit d'un composé organique sous forme liquide, soit enfin d'un composé organique du métal, dissous dans un liquide organique. Il convient de se rappeler, à ce sujet, que la plupart des liquides organiques sont mauvais conducteurs; fort heureusement l'introduction d'un métal pour former un composé organique augmente sensiblement la conductibilité, surtout lorsqu'il s'agit de composés contenant de l'azote.

4. Expériences effectuées sur les différents métaux. — 1° *Aluminium*. — Onze essais différents ont été exécutés relativement à ce métal; nous ne mentionnons ici que les deux d'entre eux qui ont donné des résultats positifs.

Dans le premier on utilisa un composé d'iodure d'éthyle et d'aluminium préparé suivant le procédé de Grignard et Jenkins et rendu conducteur par l'addition d'une petite quantité d'éther. Le potentiel était de 40 v et le courant, de 0,2 a. Au bout d'une heure les électrodes furent sorties du bain et on trouva sur la cathode un dépôt argenté qui fut reconnu être de l'aluminium.

Dans l'autre expérience, les auteurs utilisèrent un mélange de bromure d'aluminium et de tétraéthylbromure d'ammonium, qui fut soumis à l'électrolyse à la température de 100°C. La tension était de 22,6 v et la densité de courant, 0,068 a cm² (courant total, 0,4 a). Les électrodes, en aluminium et en cuivre, étaient distantes de 1 cm. Au bout d'une demi-heure, la cathode fut pesée; son poids avait augmenté de 0,0684 g par dépôt d'aluminium sous forme de cristaux adhérents.

Ces deux méthodes ayant donné un bon résultat, il fut décidé de les appliquer aux autres métaux étudiés.

2° *Béryllium*. — Aucun résultat intéressant n'a pu être obtenu par les auteurs qui avaient entrepris la préparation de composés en partant du métal pur, celui-ci étant obtenu par la méthode de Libeau, et qui durent abandonner cette préparation.

3° *Bore*. — Des essais ont été effectués avec le tribro-

mure mélangé à un composé éthylique de bromure d'ammonium. On utilisait une anode de graphite et une cathode de cuivre. La température fut élevée jusqu'à 200°C, correspondant au début de la décomposition du composé éthylique; mais aucun dépôt de bore ne fut constaté. Le courant traversant le bain était d'ailleurs extrêmement faible.

4° *Titane.* — Deux expériences furent poursuivies sur le titane en partant de composés analogues; elles ne donnèrent ni l'une ni l'autre de résultat positif.

5° *Cérium.* — Les essais ont porté sur un mélange de chlorure de cérium et de tétraéthylbromure d'ammonium. Ces deux corps ne formant pas de composé et n'ayant donné aucun risque de fusion jusqu'à 200°C, cette tentative n'eut aucun succès.

6° *Vanadium.* — Les résultats ne furent pas meilleurs avec le vanadium dont le trichlorure ne laisse passer aucun courant lorsqu'il est mélangé et chauffé avec le tétraéthylbromure d'ammonium.

7° *Chrome.* — Les auteurs se sont proposés d'obtenir le dépôt du chrome en partant de composés où le chlore est trivalent. Ces composés (iodure et chlorure de chrome) ne se trouvant pas dans le commerce, ils ont été contraints de les préparer en partant du métal obtenu lui-même par décomposition électrolytique d'un bain de 250 g d'acide chromique et 3,3 g de sulfate de chrome.

Il est évident que dans de telles conditions ces essais ne pouvaient avoir qu'un intérêt théorique. Les expériences, conduites de quatre manières différentes, ne donnèrent d'ailleurs aucun résultat.

8° *Tungstène.* — Les recherches de Neumann et Richter sur l'hexachlorure de tungstène dissous dans des liquides organiques furent reprises par les auteurs qui durent préparer ce corps en partant de la poudre de tungstène. On trouve les détails de cette préparation dans l'article original. Aucun résultat ne fut obtenu, car le composé ne laisse passer aucun courant, même à la température où la décomposition par l'effet de la chaleur commence à se produire.

5. Résultats et conclusions. — L'aluminium est le seul métal, parmi ceux qui ont été étudiés, qui puisse être déposé par électrolyse en partant d'un composé à base de tétraéthyl-bromure d'ammonium. On ne peut, de plus, utiliser à cet effet que le bromure d'aluminium car le chlorure et le fluorure produisent la décomposition des produits en présence.

Les insuccès obtenus avec les autres métaux sont dus à des causes multiples. Il ne paraît cependant pas impossible d'arriver à des résultats plus encourageants en électrolysant des composés organiques des métaux considérés, dissous dans l'éther. — B. E.

Production de l'électricité par frottement (1).

1. Frottement du verre. — Lorsqu'une tige de verre, qui acquiert une charge positive par frottement avec la soie, est placée dans une flamme, même pendant une seconde ou deux seulement, on constate qu'elle se charge alors négativement par frottement avec la soie et que, du reste, la force de frottement s'est accrue considérablement. Si l'on continue cependant à frotter vigoureusement, le verre revient à son état initial et la force de frottement est à nouveau petite. Ce changement réversible disparaît lorsque la substance frottante (soie, flanelle, feutre, etc.) a été soigneusement dégraissée avec du benzène très pur : le verre est alors constamment négatif par frottement. Si on répand sur le frotteur propre une trace de corps organique à bas point de fusion, le verre prend à nouveau des charges positives par frottement avec la subtance en question. On peut utiliser ainsi des acides gras ou aromatiques, des éthers ou des cétones. Il est clair que, dans ce cas, il se forme sur le verre une pellicule de nature organique qui réduit le frottement et disparaît par chauffage. Et, quand par frottement le verre se charge positivement, la surface frottée n'est pas celle du verre, mais celle de la pellicule organique répandue sur lui. Le verre propre, frotté au moyen d'une substance propre, se charge toujours négativement.

2. Frottement de deux surfaces identiques. — On croit, en général, que deux corps identiques frottés l'un contre l'autre ne se chargent pas. L'expérience indique le contraire : par exemple, on prend deux morceaux d'ébonite, taillés dans la même tige et on les recuit ensemble en les portant à 100°C dans de l'eau bouillante; on les sèche et on les laisse refroidir. On applique l'un des morceaux A sur l'autre B, et l'on frotte B (fixe) avec A, ce dernier étant orienté à peu près normalement à B. Alors, A se charge négativement et B, positivement. Si l'on intervertit les rôles, c'est B (mobile) qui se charge négativement et A (fixe), positivement. Ces effets peuvent être attribués à une répartition différente des déformations sur les deux tiges frottante et frottée : la première subit toujours au même point les effets mécaniques du frottement; pour l'autre, ces effets s'étendent tout le long d'une génératrice : il se produit donc bientôt entre les deux tiges, chimiquement identiques, une différence d'ordre probablement physique.

Une autre circonstance dans laquelle deux corps identiques peuvent produire cependant des charges électriques est l'impact oblique, mais avec un résultat fort différent du précédent. Par exemple, on choque vivement et obliquement une tige d'ébonite avec une autre. Si les deux tiges sont alors approchées ensemble d'un électroscope à feuilles d'or, celui-ci accuse une très forte charge négative, ce qui paraît contraire au principe de la conservation de l'électricité; d'où la conclusion qu'il a dû apparaître quelque part des charges positives. On admet que celles-ci sont portées par l'air environnant : le choc violent provoquerait un phénomène semblable à une explosion au point d'impact, avec éjection dans l'air de particules positives. On sait en effet qu'au cours d'un semblable choc, il peut se développer au point d'impact une pression instantanée de l'ordre de plusieurs milliers d'atmosphères, capables de produire des effets destructifs puissants sur la très petite portion de matière qui en est le siège.

3. Expériences de Rudge. — Cette manière de voir est corroborée par d'autres expériences, dues à Rudge. Cet auteur a montré que certaines poudres, vivement chassées d'un récipient par un tube étroit, au moyen d'un courant d'air, se chargent dans ces conditions d'une façon extrêmement régulière. Il s'agit ici aussi, probablement, d'impacts obliques entre des particules animées de vitesses différentes. Ces observations expliquent, d'autre part, divers phénomènes naturels, tels que les coups de foudre accompagnant les éruptions volcaniques, les tourbillons de sable électrisé du désert, les tempêtes de neige électrisée de l'Antarctique.

4. Influence des pellicules de nature diverse. — Nous avons vu plus haut que des pellicules de nature organique répandue sur une surface peuvent modifier profondément

(1) P.-E. Shaw. *The philosophical Magazine*, avril 1930, t. IX (7e série), p. 577-583, 3 000 mots.

ses propriétés électriques. D'autres sortes de pellicules peuvent avoir une influence déterminée : 1° Des pellicules d'eau adsorbée se condensent fréquemment sur des surfaces d'isolants, et surtout de verre; ces surfaces se chargent alors négativement ; 2° Des pellicules alcalines agissent de même, grâce à la séparation probable d'ions OH− lorsque la surface est frottée ; 3° Les pellicules de nature acide agissent en sens inverse, peut-être par suite de la production d'ions H+. Comme ces traces d'acides, ou d'alcalis ou d'eau sont extrêmement tenaces, on voit que les renseignements donnés dans les traités sur le processsus de charge des surfaces par frottement sont souvent tout à fait sujets à caution. — L. B.

La saturation absolue des substances ferromagnétiques et les lois d'approche en fonction du champ et de la température (1).

1. Introduction. — Dans ce travail les auteurs décrivent la technique qu'ils ont utilisée pour mesurer avec précision l'aimantation des substances ferromagnétiques dans les champs élevés et aux basses températures ; ils étudient, d'autre part, la loi d'approche de ces substances vers la saturation en fonction du champ et vers la saturation absolue en fonction de la température.

2. Moments du fer et du nickel. Le magnéton. — Les auteurs ont ainsi déterminé que les moments atomiques du fer et du nickel sont, avec une précision de l'ordre du millième, égaux respectivement à 11 fois et 3 fois 1 125,6 unités électromagnétiques C.G.S.Cette valeur du magnéton est supérieure de 1,9 pour 1 000 à la valeur autrefois admise égale à 1123,5 et inférieure de 6,3 pour 1 000 à la cinquième partie du magnéton de Bohr. Elle est très voisine de la valeur 1 126 qui a été déduite, en 1924, des moments des ions de la famille du fer, calculés à partir de la constante de Curie au moyen de la formule classique de Langevin.

Tous les moments atomiques donnés par les auteurs sont exprimés en fonction du magnéton déduit de l'étude du fer et du nickel.

3. Autres moments atomiques. — Pour l'atome de fer ferrique dans la magnétite, les auteurs ont trouvé avec une précision un peu moindre 10,10 magnétons, une partie de l'excès sur le nombre entier étant attribuable au paramagnétisme accompagnant le ferromagnétisme dans la molécule qui contient du fer ferrique et ferreux. Dans le cas du sesquioxyde de fer ferromagnétique, de la cémentite, du ferro-bore et de la pyrrhotine, la difficulté à obtenir des substances chimiquement pures ou dans un état physique défini diminue beaucoup la précision des résultats. Les nombres de magnétons obtenus sont :

Sesquioxyde de fer ferromagnétique, 8,88 ;
Cémentite, 9,10 ;
Ferro-bore, 8,84 ;
Pyrrhotine, 1,83.

Au degré de précision atteint ils sont compatibles avec les nombres entiers 9, 9, 9, 2. La fréquence du nombre 9, indiquent les auteurs, rencontré dans le sesquioxyde ferromagnétique, la cémentite, le ferro-bore, ainsi que dans le cobalt α des ferro-cobalt et le cobalt γ des nickel-cobalt, est remarquable.

Le moment de la pyrrhotine, trouvé voisin de deux magnétons, est le plus petit des moments connus.

4. Ferro-cobalt et nickel-cobalt. — L'étude de la saturation absolue des ferro-cobalt et des nickel-cobalt montre que le moment atomique moyen, c'est-à-dire le moment de la substance, divisé par le nombre des atomes présents, varie, dans certains intervalles, linéairement avec le titre, propriété conforme à la loi des mélanges lorsque chacun des constituants possède un moment atomique défini. Mais la multiplicité de ces fonctions linéaires, c'est-à-dire trois droites dans le cas des ferro-cobalt et deux droites dans celui des nickel-cobalt, montrent que ces métaux existent dans divers états caractérisés par des moments différents.

Outre les moments connus du fer et du nickel, les auteurs ont trouvé dans les ferro-cobalt α riches en fer, le cobalt à 17 magnétons, dans le ferro-cobalt α riches en cobalt, le fer à 15 magnétons et le cobalt à 9 magnétons, dans les ferro-cobalt γ le cobalt à 8, 2/3 magnétons, dans les nickel-cobalt γ, le cobalt à 9 magnétons et dans les nickel-cobalt H le cobal, à 8, 1/2 magnétons. De plus, il existe dans les ferro-cobaltt entre 13 et 50 pour 100 de cobalt, une région où la variation du moment est curviligne, indiquant dans cet intervalle la présence d'au moins trois moments atomiques différents. C'est à cette région qu'appartiennent les ferro-cobalt de saturation élevée. De 35 à 45 pour 100 de cobalt, la saturation, à la température ordinaire rapportée au volume, dépasse de 12,4 pour 100 celle du fer pur.

La multiplicité incontestable des états d'un même atome, caractérisés par leurs moments, indiquent les auteurs, paraît être un des aspects essentiels des phénomènes. A l'exception des deux fractions rationnelles simples 8, 1/2 et 8, 2/3 trouvées pour deux états du cobalt, tous les moments aux basses températures sont des multiples entiers du magnéton.

5. Lois d'approche. Postulat de Nernst. — Pour la détermination des moments, les auteurs ont été amenés à étudier la loi d'approche de l'aimantation vers la saturation en fonction du champ et la loi suivant laquelle l'aimantation à saturation s'approche de sa valeur limite au zéro absolu.

La première de ces lois est donnée par la formule

$$\sigma_{HT} = \sigma_{\infty T}\left(1 - \frac{a}{H}\right).$$

La constante a mesure la dureté magnétique dans les champs forts ; elle est sensiblement indépendante de la température. Cette constante, différente d'un échantillon à l'autre, est petite dans les métaux purs cristallisés dans le système cubique. Elle est grande dans les substances non cubiques, ferro-bore, cémentite, pyrrhotine. Dans le fer et le nickel à la température ordinaire la limite inférieure de la validité de la loi d'approche est de l'ordre de 1 000 gauss. Cette limite se déplace vers les champs élevés quand la température s'abaisse.

L'approche de la saturation vers sa limite au zéro absolu est donnée par la formule

$$\sigma_{\infty T} = \sigma_{\infty 0}\,(1 - AT^2 - BT^4 \ldots).$$

Cette seconde loi satisfait au postulat de Nernst : l'entropie d'une substance ferromagnétique reste finie au zéro absolu. — A. B.

(1) Pierre Weiss et R. Forrer. *Annales de Physique*, novembre 1929, t. XII, p. 279-372 ; 32 000 mots, 27 figures, 22 tabl.

SECTION INDUSTRIELLE

La commande électropneumatique système Bergmann pour unités multiples

Le système de commande électropneumatique qui fait l'objet de cet article est basé sur l'emploi d'un relais d'accélération qui assure le passage de l'arbre à cames du combinateur d'un cran à l'autre. Après avoir décrit les organes essentiels, à savoir le combinateur et le mécanisme électropneumatique, l'auteur examine le détail de son fonctionnement d'où ressortent les avantages de la solution envisagée, c'est-à-dire l'absence de nombreux circuits de verrouillage et la réduction au minimum du nombre des lignes de commande. Ce mode de commande, de la Bergmann-Elektricitäts-Werke Aktien-Gesellschaft, a été adopté sur quelques automotrices du réseau à courant continu des chemins de fer, à la surface et souterrain, de la ville de Berlin et sa sécurité de fonctionnement s'est révélée au cours d'une expérience de plusieurs années.

I. **Introduction.** — Le système de commande Bergmann fonctionne sur les automotrices des chemins de fer électriques de Berlin et de sa banlieue, sous courant continu à 800 v. Il permet la commande d'un train d'automotrices à partir de n'importe quelle voiture et supprime sur les plates-formes les câbles parcourus par le courant intense des moteurs. Le circuit des moteurs est commandé par des contacteurs actionnés par un arbre à cames, lequel est solidaire d'une roue à cliquets entraînée par un mécanisme électropneumatique.

La Bergmann-Elektricitäts-Werke Aktien-Gesellschaft a songé tout d'abord à entraîner cet arbre à cames par un moteur électrique ; la principale difficulté consistait en la conception d'un accouplement entre le moteur et l'arbre à cames, capable d'assurer l'avancement cran par cran sous la commande du relais d'accélération. La mise au point de cet accouplement fut longue et ce n'est qu'en 1929 que la société précitée put présenter un équipement entièrement électrique qui a donné aux essais les meilleurs résultats et dont on effectue actuellement le montage sur quelques automotrices des chemins de fer à la surface et souterrain de Berlin. Nous attendrons les résultats de l'exploitation pour revenir ultérieurement sur la solution trouvée au problème de cet accouplement. Entre temps, et pour répondre aux besoins pressants des chemins de fer du Reich, la Bergmann-Elektricitäts-Werke Aktien-Gesellschaft mettait au point un mécanisme de commande électropneumatique de l'arbre à cames que nous nous proposons de décrire ici.

II. **Description du système.** — 1. Principe du système. — Le principe du fonctionnement consiste, suivant la solution classique, à ne rendre possible le passage d'un cran au suivant que lorsque la vitesse des moteurs s'est suffisamment accrue et que, par suite, le courant a diminué jusqu'à une valeur choisie, de façon que le passage au cran suivant ne provoque pas de pointe inadmissible ; dès que le courant a repris cette

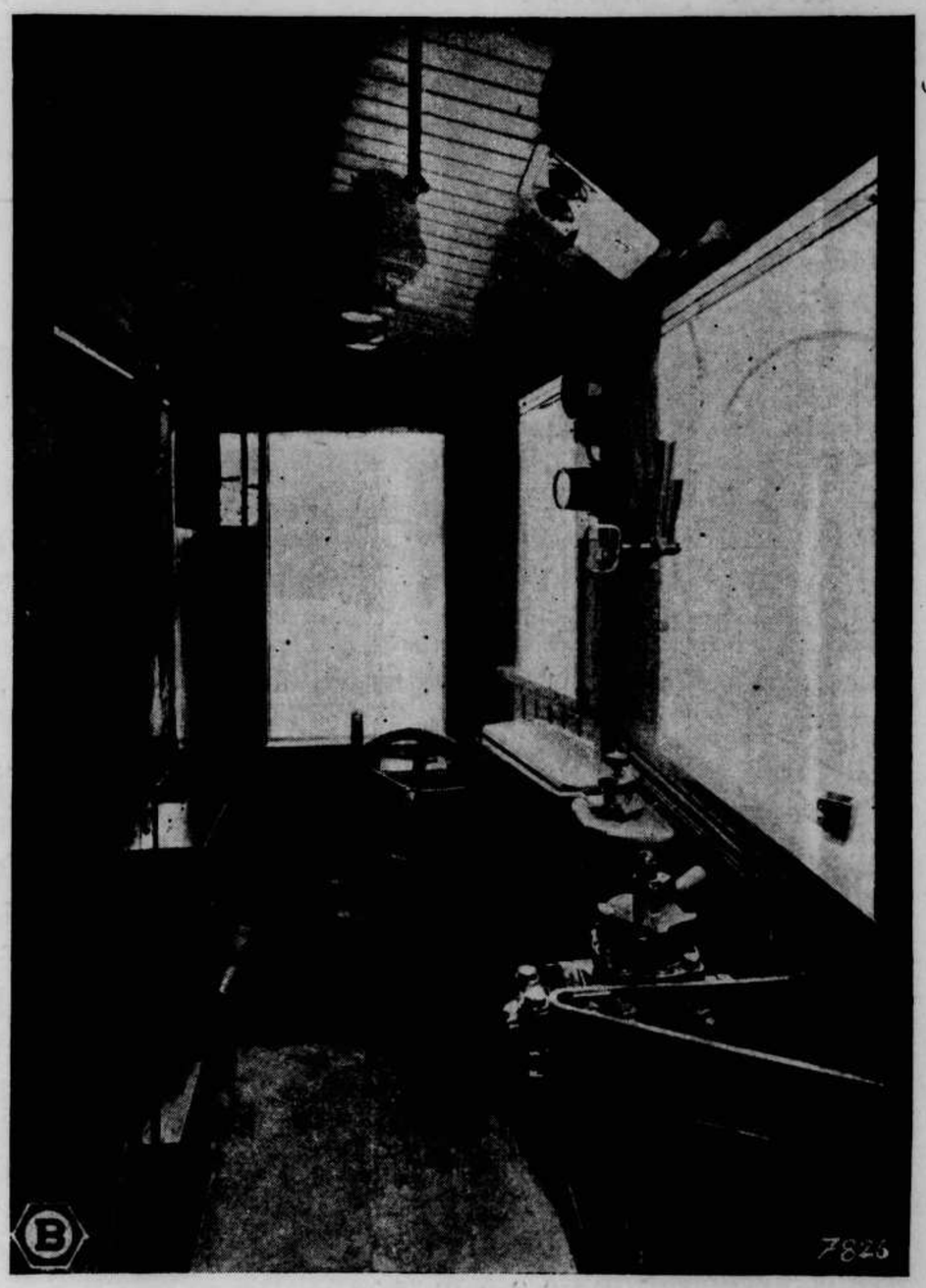


Fig. 1. — Vue de la cabine du machiniste.

valeur, l'avancement au cran suivant est automatique. L'asservissement du passage d'un cran au suivant à

la valeur du courant de traction est obtenu par un relais d'accélération conçu sur le principe d'un relais à tension minimum. Ce relais établit un contact qui assure une rotation de l'arbre à cames correspondant à un cran.

2. Combinateur. — Pratiquement, le machiniste dispose essentiellement d'un combinateur à cinq crans surmonté d'un bouton poussoir. L'accélération choisie ayant été réglée d'avance par la position du combinateur, le machiniste n'a plus, pour

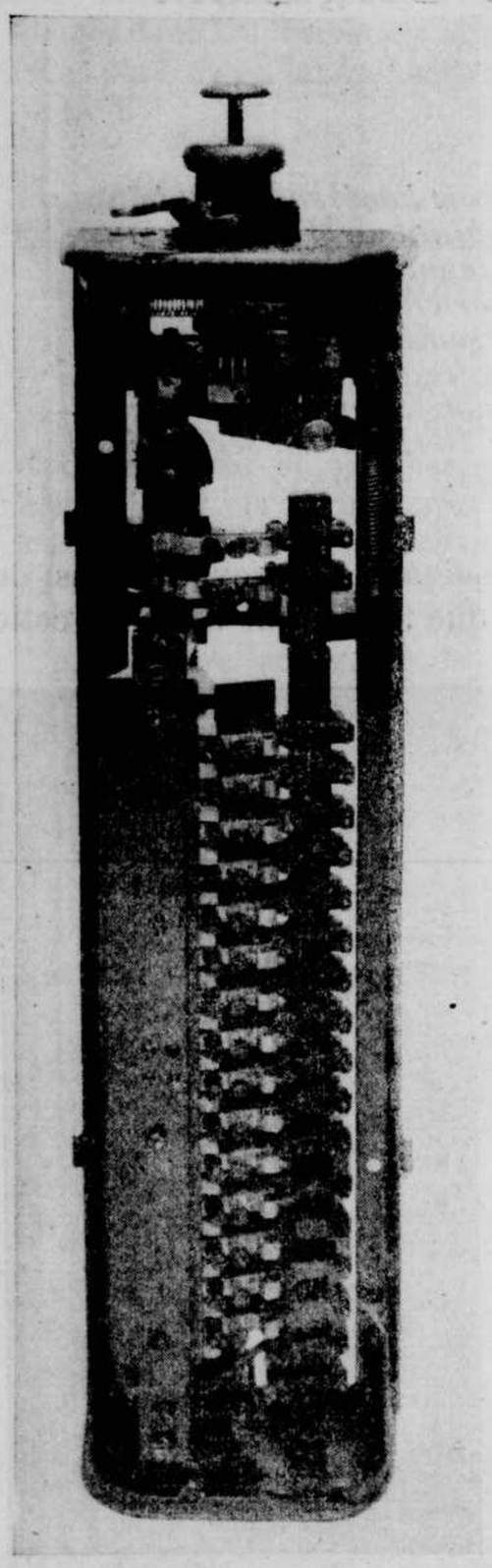


Fig. 2. — Vue du combinateur.

démarrer le train, qu'à appuyer sur le bouton poussoir ; la mise en mouvement est alors automatique jusqu'au dernier cran de l'arbre à cames et les moteurs restent sous tension tant que le poussoir est fermé.

Le combinateur permet, avec ses cinq crans, les opérations suivantes : *a*) marche arrière, faible accélération ; *b*) repos ; *c*) marche avant, faible accélération ; *d*) marche avant, accélération de 0,3 m : s : s ; *e*) marche avant, accélération de 0,5 m : s : s.

Outre les sept contacts nécessaires à ces mouvements, il en porte deux pour la lampe de signalisation dont nous parlerons plus loin et six pour la pompe à air. Son encombrement est donc très réduit (fig. 1 et 2).

En appuyant sur le bouton poussoir, on agit sur le système de leviers, visible en haut à droite sur la figure 1. Ce système fait tourner un arbre creux portant des segments. Ceux-ci mettent en court-circuit les deux contacts supérieurs. Le rappel du bouton poussoir se fait par un ressort. Une manette sert à amener le combinateur sur les différentes positions de marche.

3. Mécanisme électropneumatique. — La figure 3 est un croquis schématique de ce mécanisme. Celui-ci se compose essentiellement de deux cylindres à air comprimé dont l'un est le cylindre d'avancement, l'autre, le cylindre de rappel.

Dès que le machiniste appuie sur le bouton poussoir,

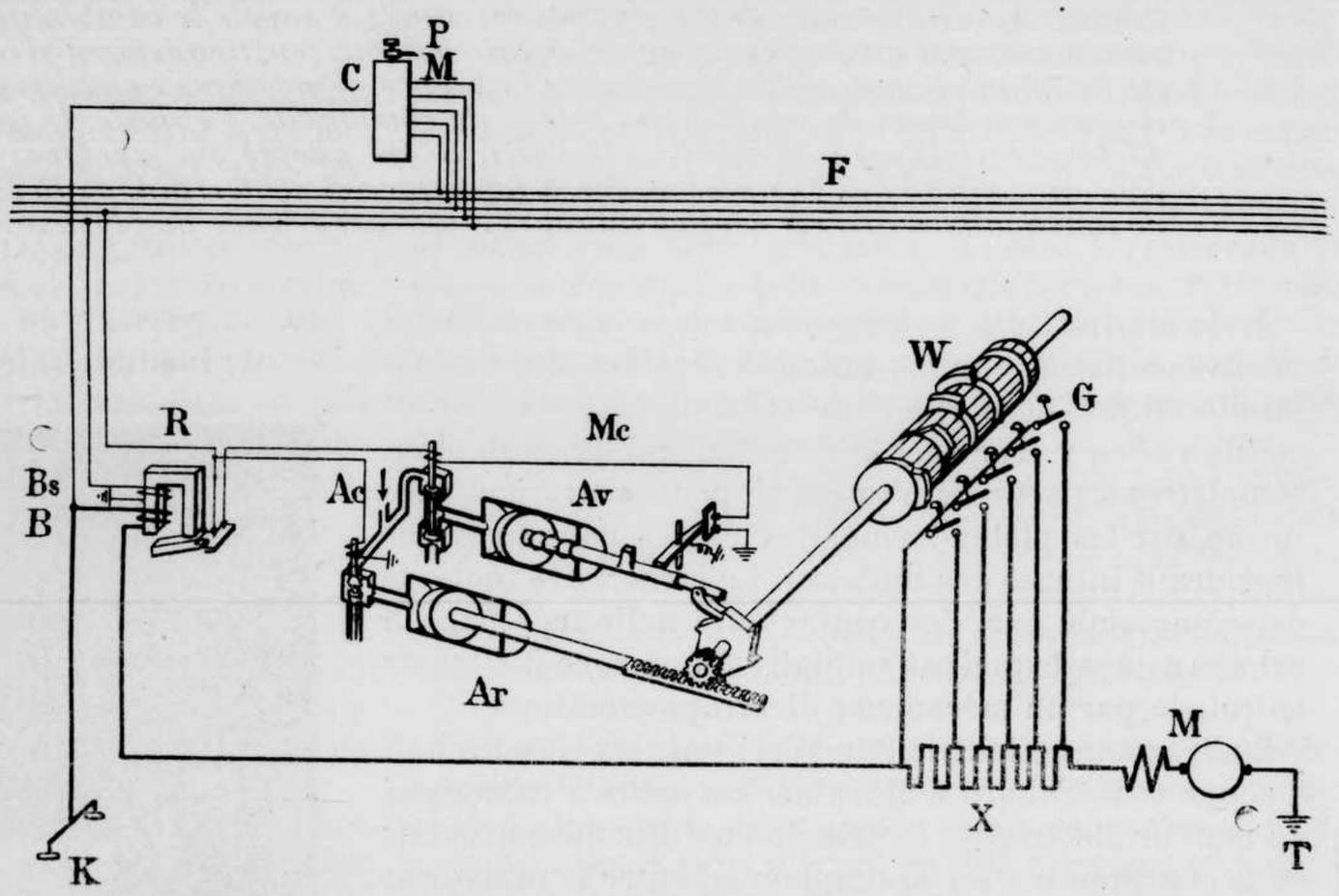


Fig. 3. — Schéma de principe du mécanisme de commande Bergmann : A_c, air comprimé ; A_r, cylindre de rappel ; A_v, cylindre d'avancement ; B, bobine principale ; B_s, bobine supplémentaire ; C, combinateur ; F, lignes de commande le long du train ; G, contacteurs ; K, frotteurs ; M, moteur de traction ; M_c, mécanisme de commande ; P, bouton poussoir ; R, relais d'accélération ; T, terre ; W, arbre à cames ; X, résistances de démarrage.

l'électrovalve du cylindre d'avancement s'ouvre et laisse entrer l'air comprimé. La tige de son piston fait avancer la roue à cliquet d'un cran. Arrivant à la fin de sa course, la tige entraîne l'extrémité d'un levier dont l'autre extrémité interrompt le circuit de la bobine de l'électrovalve ; celle-ci se ferme en même temps qu'elle ouvre une deuxième soupape conjuguée ; cette dernière laisse l'air s'échapper et le piston est ramené par un ressort à sa position initiale. Entre temps, le relais d'accélération, par suite de l'augmentation du courant lors du passage au cran suivant, a attiré son armature et coupé ainsi le circuit d'alimentation de l'électrovalve. Dès que, par suite de l'accélération des moteurs, l'intensité du courant a repris sa valeur inférieure, l'armature du relais tombe, le circuit de l'électrovalve se referme et la première série d'opérations recommence. Ce mouvement se répète jusqu'à ce que

le dernier cran soit atteint, à condition que le bouton poussoir reste constamment appuyé. Dès que celui-ci est ramené à sa position de repos, le cylindre de rappel fonctionne. Celui-ci également est alimenté par une électrovalve qui, à l'encontre de celle du cylindre d'avancement, laisse entrer l'air comprimé quand elle n'est pas sous tension.

La tige du piston du cylindre de rappel est prolongée par une crémaillère entraînant l'arbre à cames par un pignon. Lorsqu'on lâche le bouton poussoir, l'électrovalve du cylindre de rappel est mise hors tension, l'air comprimé entre dans le cylindre et repousse le piston; l'arbre à cames se trouve ainsi ramené à sa position initiale.

La figure 4 montre la vue avant du mécanisme de commande électropneumatique, couvercle rabattu; la figure 4 bis concerne la vue arrière du même appareil. A droite on reconnait le cylindre amortisseur de rappel et le pignon de l'arbre à cames. A gauche, on aperçoit une partie de la roue à cliquet. Au milieu, est disposée l'électrovalve du cylindre d'avancement et au-dessus,

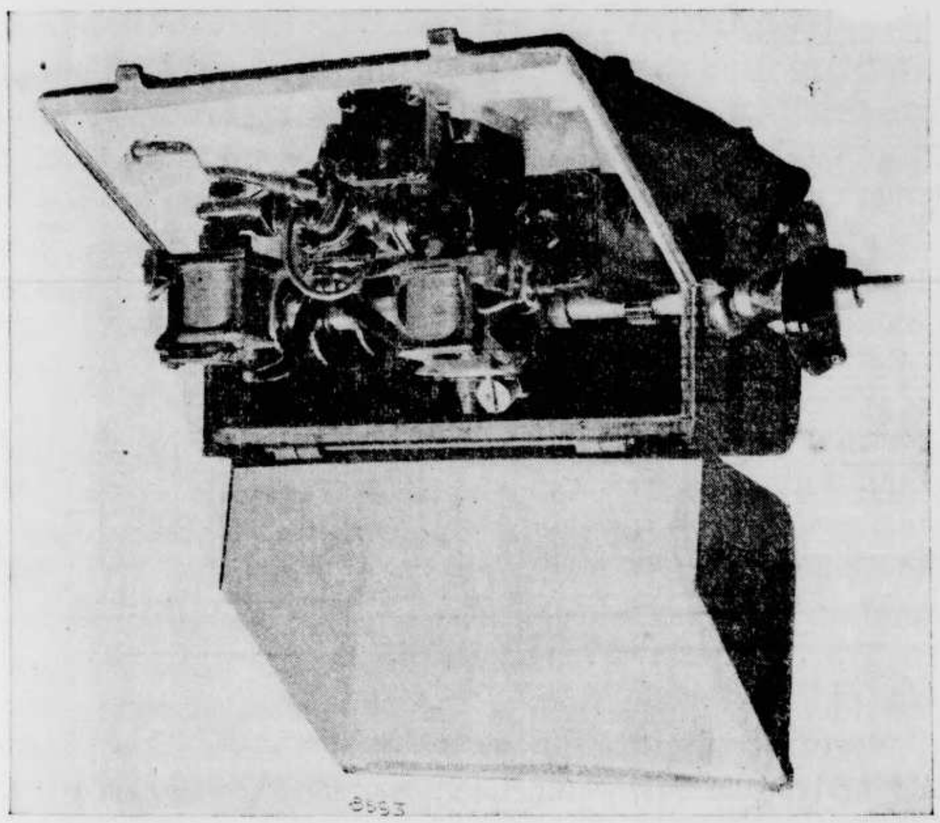


Fig. 4. — Vue du mécanisme de commande (vue avant).

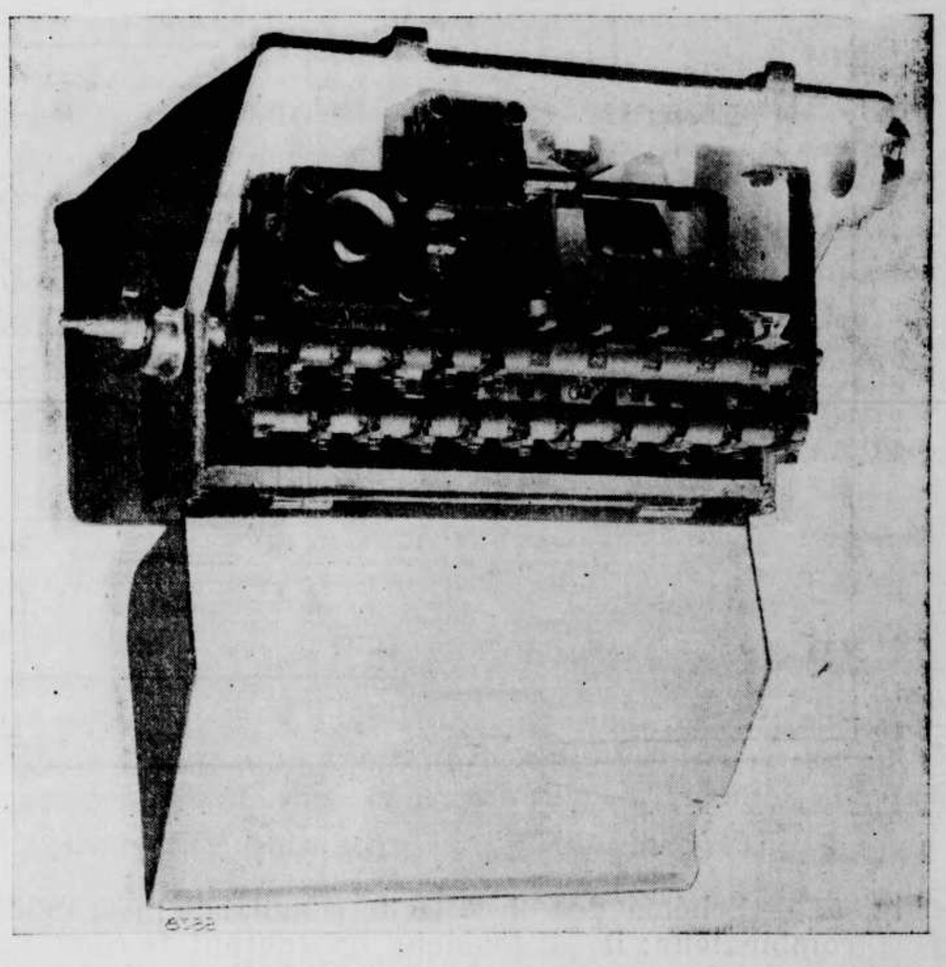


Fig. 4 bis. — Vue du mécanisme de commande (vue arrière).

le cylindre lui-même. A gauche on voit l'électrovalve du cylindre de rappel ainsi que son levier de fermeture. En outre, sont prévus des contacts auxiliaires commandés par cames et dont nous allons préciser le fonctionnement.

III. **Détail du fonctionnement de la commande.** — 1. Circuit de commande. — Le schéma des connexions de la figure 5 montre le fonctionnement de la commande. Un verrou mécanique empêche la roue à cliquet de revenir en arrière quand le piston et le cliquet d'avancement exécutent leur mouvement de retraite. Le fonctionnement de ce verrou précède un peu la fin de l'action du cliquet. Un troisième cylindre est prévu pour soulever le verrou et le cliquet un peu avant que fonctionne le cylindre de rappel, afin de supprimer un verrouillage devenu inopportun. Il est placé entre la soupape du cylindre de rappel et le cylindre même. L'air entre seulement dans ce dernier après que le verrou et le cliquet ont été soulevés. Un secteur denté, qui engrène avec l'arbre à cames, agit sur un levier, lequel interrompt l'arrivée d'air comprimé lorsque le cylindre de rappel a atteint sa position de repos.

La commande est donc prête à fonctionner à nouveau sans que l'électrovalve du cylindre de rappel soit mise sous tension pour la fermer. Afin d'éviter des à-coups brusques, les tiges des pistons d'avancement et de rappel portent des pistons qui se meuvent dans des cylindres amortisseurs; on obtient ainsi un fonctionnement très doux.

Roue à cliquet et arbre à cames sont suspendus avec tous les appareils de commande sous les automotrices. Les divers contacteurs formés chacun d'un levier coudé sont enclenchés par les cames. On peut prévoir pour ces contacteurs, à côté des cames d'enclenchement, des cames de rappel. Toutefois, par raison d'économie, on peut renoncer à prévoir des cames de rappel pour tous les contacteurs dont la fermeture permanente ne peut entraîner la détérioration des moteurs qu'ils commandent.

Voici l'explication des différents circuits de la figure 5. La ligne principale est représentée en traits gras, à la partie inférieure du schéma. Après la prise de courant est dérivée une ligne de commande avec disjoncteur à courant maximum. Sur celle-ci est dérivée une ligne reliée à une borne d'un voltmètre, le seul instrument de mesure électrique de la cabine du conducteur; l'autre borne du voltmètre est mise à la terre

(toutes les mises à terre sont indiquées par une flèche verticale dirigée vers le bas). Le voltmètre informe le conducteur que le rail d'amenée de courant est sous tension. La ligne de commande protégée par son disjoncteur alimente ensuite le contact e du combinateur. Sur l'une quelconque des positions R, V, 1/2, 1/1, une partie du courant traverse le circuit formé par les contacts l, k, a, b (le bouton poussoir étant appuyé) la bobine e du contacteur et passe à la terre. Le contacteur ferme c-d et laisse passer du courant par un autre circuit c-d-g et suivant la position du combinateur sur R, V, 1/2 ou 1/1, 1, 2, 3 ou 4. Les électrovalves de l'inverseur de marche sont branchées sur 1 et 2. Le schéma est dessiné pour la position V (marche avant) du combinateur. Le courant d'alimentation des électrovalves passe par la borne b et les contacts f-h du contacteur à minimum, ces derniers étant mis en court-circuit par le relais dont la bobine se trouve entre g et m et est alimentée en dérivation sur la ligne principale de commande; il traverse ensuite différents circuits disposés en parallèle et qu'il alimente après avoir traversé des résistances inégales qui jouent le rôle de

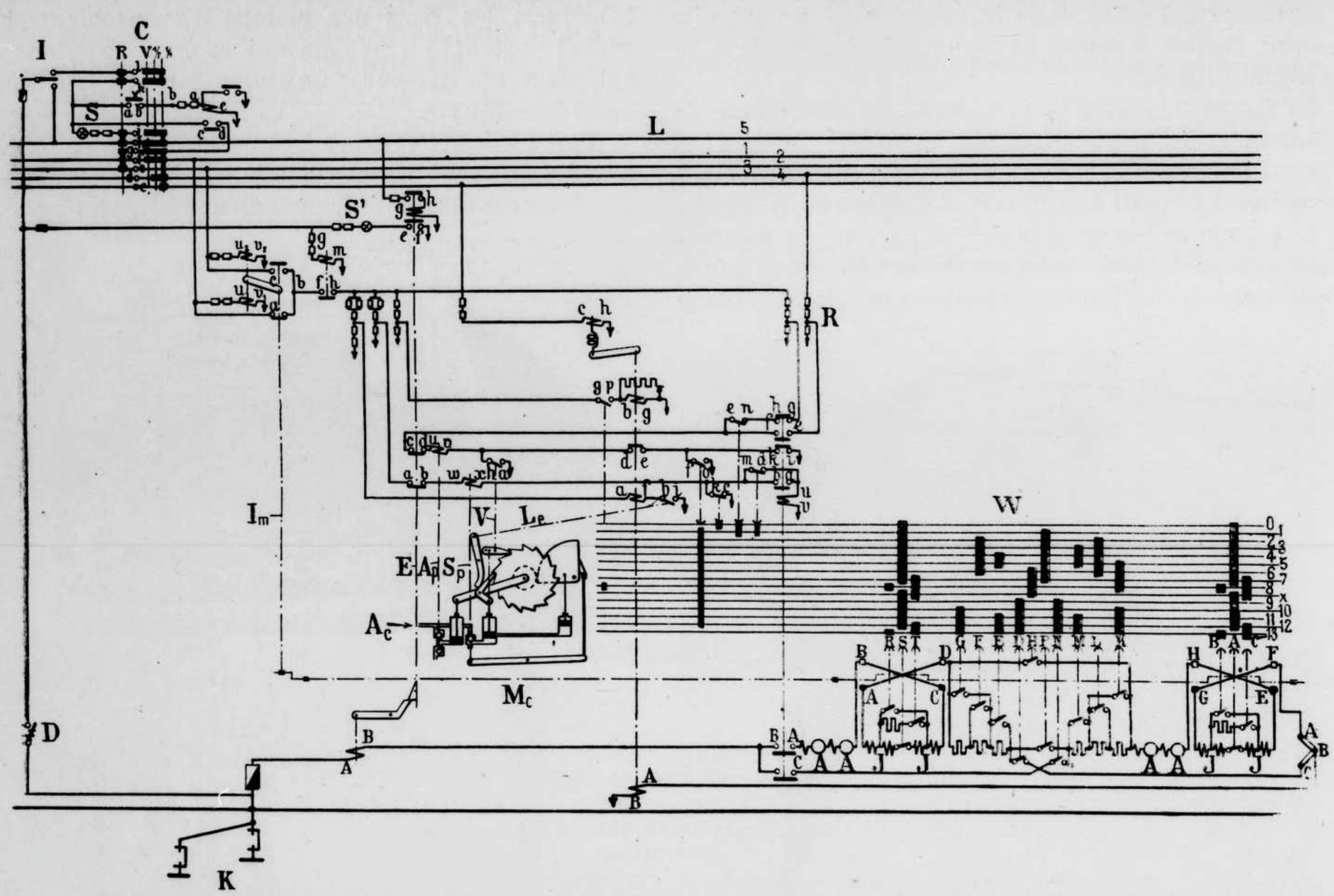


Fig. 5. — Schéma des circuits de commande : A, induit; A_c, arrivée de l'air comprimé; A_p, sous pression d'air; C, combinateur; D, disjoncteur du courant de commande; E, enclenchement du relais de surcharge; I, inverseur du courant de commande; I_m, inverseur de marche; J, inducteur; K, frotteurs; L, lignes de commande le long du train; L_e, levier; M_c, mécanisme de commande; N, contacteur à tension minimum; R, résistances; S, lampe verte d'avertissement; S', lampe rouge indicatrice; S_p, sans pression d'air; V, verrou; W, arbre à cames.

diviseur de tension. L'électrovalve du cylindre d'avancement est alimentée par la ligne 1 à travers b, f-h, g-h, n-e, c-d, u-v, d-e, k-i et la terre. La roue à cliquet fait sa première course. Dès le début de ce mouvement le contacteur b-i actionné par le cliquet d'avancement ferme le circuit b, f-h, (bobine supplémentaire a-f du relais d'accélération), contacteur b-i, terre. La bobine a-f attire l'armature du relais d'accélération qui, en interrompant d-e, coupe le circuit de l'électrovalve du cylindre d'avancement. Afin que la roue à cliquet continue quand même son mouvement jusqu'au bout, le verrou d'arrêt ferme le contacteur h-a et ferme ainsi par la terre le circuit de l'électrovalve u-v, jusqu'à ce que le mouvement étant terminé, ledit verrou tombe dans la dent de la roue à cliquet et rouvre le contacteur h-a. Lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir, deux autres circuits se ferment en même temps que le circuit de l'électrovalve du cylindre d'avancement, à savoir le circuit b, f-h : interrupteur a-b, sur le mécanisme du relais de surcharge, électrovalve du cylindre de rappel w-x, contacteur k-c, terre, et, en dérivation sur la borne x de l'électrovalve, le circuit : contacteur m-d, bobine du contacteur principal u-v, terre. Le contacteur k-c s'ouvre un peu avant que le premier cran ne soit atteint. Celui-ci étant atteint, le contacteur principal est enclenché, l'interrupteur P est fermé et l'automotrice se met en marche. Nous avons le circuit principal : prise de courant, contact B-A du contacteur

principal, induit 1, induit 2, B-C, inducteur 2, inducteur 1, A-D, résistances, P, résistances, induit 3, induit 4, H-E, inducteur 4, inducteur 3, G-F, bobine principale du relais d'accélération, terre.

Le contacteur m-d s'ouvre après le premier cran; toutefois, la bobine u-v du contacteur principal reste sous tension par les contacts auxiliaires b-a. De même, le circuit de l'électrovalve du cylindre d'avancement est constamment fermé par l'interrupteur f-e du contacteur principal. Dès que le courant des moteurs s'est abaissé, de sorte que l'armature du relais d'accélération retombe, l'interrupteur d-e ferme le circuit suivant: ligne de contrôle 3, résistances, interrupteur e-f du contacteur principal, c-d du relais de surcharge, électrovalve u-v, d-e du relais d'accélération, interrupteur f-o continuement fermé à partir du premier cran et terre. Le deuxième mouvement commence. Ce jeu se répète jusqu'au dernier cran, à condition que le machiniste maintienne le bouton poussoir appuyé.

2. Circuit de traction. — Le circuit des moteurs est lisible sans difficulté sur le schéma. Les crans, sur lesquels les interrupteurs enclenchés par l'arbre à cames sont fermés, sont indiqués en noir. Sont prévus: 8 crans pour marche en série, 1 cran de passage, 5 crans pour marche en parallèle. Sur l'avant-dernier cran de la marche en série et de la marche en parallèle. une partie des inducteurs est shuntée avec une résistance, puis mise en court-circuit sur le dernier cran. Les moteurs sont deux par deux continuellement en série.

IV. **Description et rôle des organes du système.** — 1. Relais d'accélération. — Des deux bobines déjà mentionnées du relais d'accélération, la première qui fait partie du circuit principal des moteurs est appelée bobine principale et la seconde est appelée bobine supplémentaire. Celle-ci renforce l'action de la première; elle est assez forte pour pouvoir attirer l'armature à elle seule afin d'éviter que, si, sur le premier cran, l'intensité du courant des moteurs est trop faible, le relais d'accélération n'attire pas l'armature et que l'électrovalve du cylindre d'avancement reste continuellement sous tension. Un deuxième mouvement ne se ferait donc pas. Cette bobine est également nécessaire pour effectuer des essais au dépôt. Afin d'éviter une pointe excessive de courant lors du passage de la marche en série à la marche en parallèle, l'interrupteur g-p, actionné par l'arbre à cames, met en circuit une bobine auxiliaire b-g du relais d'accélération, qui agit dans le même sens que la bobine principale et est shunté par une résistance. Le passage au cran désigné par X ne se fait donc qu'après que le courant de traction s'est abaissé d'une valeur correspondante.

La figure 6 représente le relais d'accélération. Les contacts d-e se trouvent à droite. On y voit, à gauche, la bobine principale se composant de deux spires en barres de cuivre enroulées sur champs, au-dessus, la bobine secondaire, la bobine auxiliaire et plus haut encore, la résistance shuntée. La bobine à droite sert à la mise au point de l'accélération. Elle est mise sous tension au cran 1/1 sur la ligne 4 et agit à l'encontre de la bobine principale, de sorte que l'armature du relais

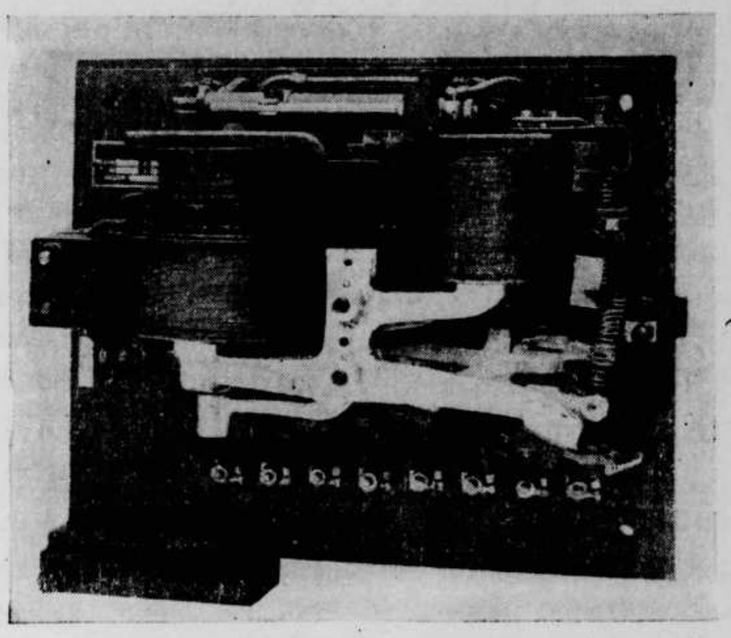


Fig. 6. — Vue du relais d'accélération.

d'accélération retombe pour une valeur plus élevée de l'intensité du courant.

2. Contacteur a tension minimum. — Le contacteur à tension minimum f-h sert à la protection des moteurs et appareils au cas où l'automotrice de tête, qui fournit le courant de commande, s'alimente sur le troisième rail et que les frotteurs de l'automotrice de queue se trouvent sur une interruption du rail. Sans ce contacteur, la commande de cette dernière étant sous tension par la ligne 1 ou la ligne 2 réaliserait le mouvement immédiatement jusqu'au dernier cran; le contacteur principal A-B enclencherait, dès le commencement du mouvement; l'arbre à cames mettrait en court-circuit les résistances de démarrage, bien que la prise de courant soit sur une interruption du rail, et les moteurs supporteraient des courants excessifs aussitôt que l'automotrice reprendrait le courant sur le rail.

3. Relais de surcharge. — Dès que le relais de surcharge d'une des automotrices agit, les contacts a-b et c-d interrompent les circuits de commande et une lampe rouge signale la surcharge, suivant le circuit: ligne auxiliaire d'alimentation g, résistances, lampe de signalisation e-f, terre. En même temps, une lampe verte signale au machiniste le déclenchement suivant le circuit: inverseur du courant de commande, contact l-k au combinateur, lampe de signalisation, résistance, contact i-h au combinateur, ligne de commande 5, contact g-h, bobine de surcharge, terre.

Pour le réenclenchement du relais de surcharge le courant qui traverse la bobine ne suffit pas. Il faut mettre la ligne 5 directement sous tension par l'inverseur du courant de commande. Si le relais de surcharge ne réenclenche pas, l'automotrice sur laquelle le dérangement s'est produit doit être mise hors de service.

V. **Conclusion.** — Ce système de commande a donné les meilleurs résultats aussi bien en service

régulier qu'aux essais. Il n'est pas douteux qu'il satisfasse à tous les desiderata de l'exploitant. Déjà lors des essais prolongés effectués en plate-forme dans des conditions très dures, il apparut que les améliorations et perfectionnements réalisés par ce système sur les systèmes antérieurs, tant au point de vue du fonctionnement qu'à celui de la durée, étaient dignes d'être pris en considération.

La Bergmann-Elektricitäts-Werke Aktien-Gesellschaft a adapté ce système à des tensions plus élevées, soit 1 500 v. Pour celles-ci il suffit de renforcer l'isolement des contacteurs actionnés par l'arbre à cames, tandis que pour le reste de l'équipement, la construction se trouve simplifiée par le fait que les automotrices à 1 500 v en courant continu sont pourvues d'un groupe convertisseur qui alimente les circuits de commande, d'éclairage, etc. Il peut être employé sans difficulté pour des courants alternatifs. L'arbre à cames agit alors sur les prises du transformateur d'alimentation. Sa construction ne présente aucune difficulté et ledit système pourrait être utilisé avec des circuits de freinage; on peut d'ailleurs en concevoir des applications multiples. Il peut être considéré comme l'un des systèmes les plus sûrs qui ait fait ses preuves à ce jour. Il semble toutefois devoir être supplanté dans un proche avenir par la commande entièrement électrique dont la Bergmann-Elektricitäts-Werke Aktien-Gesellschaft a achevé la mise au point et dont nous avons dit quelques mots plus haut. Les essais de cette nouvelle commande sont poursuivis cette année sur quelques automotrices des chemins de fer de surface et souterrain de la ville de Berlin.

D. Denis,
Ingénieur E. C. P. et E. S. E.

Revues, analyses et informations

Les méthodes modernes de nickelage (1).

1. Généralités. — Si l'on examine la série des tensions de dissolution électrolytique des principaux éléments, on constate que le nickel est un corps électropositif, dont la tension de dissolution électrolytique rapportée à celle de l'hydrogène, supposée égale à o, est o,23. On peut en déduire que par électrolyse d'une solution aqueuse contenant des ions d'hydrogène en grande quantité, l'hydrogène sera libéré à la cathode avant le nickel. On pourrait même craindre que le dépôt de nickel ne fût impossible, ou, du moins, ne s'effectuât qu'avec un faible rendement. En fait, les valeurs portées dans la série des tensions s'entendent pour des solutions normales en ions et pour dépôt sur platine. La surtension de l'hydrogène dégagé sur nickel est de o,21 v, ce qui diminue l'écart entre le nickel et l'hydrogène.

Les métaux dont la tension de dissolution est plus élevée que celle du nickel sont susceptibles de le déplacer de ses solutions; ces métaux plongés dans une solution d'un sel de nickel peuvent se recouvrir d'un dépôt plus ou moins adhérent, généralement peu adhérent, de nickel. Pratiquement, le fer, le cobalt et le cadmium, voisins du nickel, ne donnent pas de dépôts par déplacement dans les solutions de nickelage habituelles. Il n'en est pas de même pour le zinc, difficile à nickeler directement, qui se recouvre dans les solutions de sels de nickel d'un dépôt noir de nickel pulvérulent On pourrait craindre également des difficultés avec l'aluminium, plus électropositif que le zinc; or, l aluminium peut être nickelé sans difficultés dans tous les bains de nickelage sans qu'il se produise de dépôts par déplacement par suite d'un état spécial de passivité, peut-être la formation d'une très mince pellicule d'alumine. La difficulté du nickelage de l'aluminium réside, non dans la production d'un dépôt de nickel par déplacement, mais dans la faible adhérence du métal déposé électrolytiquement si des précautions spéciales ne sont pas prises lors de la préparation de la surface du métal à traiter. Le nickelage des métaux de plus faible tension de dissolution que le nickel ne présente aucune difficulté.

2. Préparation des pièces a nickeler. — Si l'on excepte certains cas assez rares de traitement de fils ou de bandes, les pièces à nickeler sont presque toujours polies avant le nickelage et arrivent à l'atelier d'électrolyse recouvertes d'une couche de matière grasse. Avant le nickelage les pièces doivent être dégraissées et subir une corrosion légère.

1° *Dégraissage*. — Le dégraissage préliminaire à l'essence minérale ou au benzol est très répandu; tel qu'il est pratiqué ordinairement, il présente de nombreux inconvénients : main-d'œuvre importante pour le brossage, dangers d'incendie, etc. On a cherché à utiliser des dissolvants non inflammables tels que le trichlorure d'éthylène, C^2HCl^3, permettant de travailler à chaud et de supprimer la main-d'œuvre de brossage. Il est aussi nécessaire de prévoir un dispositif pour la récupération du solvant par distillation. Ces appareils, de divers types, comprennent en général un panier ou un tambour dans lequel sont déposées les pièces à traiter; le panier ou tambour est placé dans une cuve où se trouve le dégraissant chauffé de 60 à 70°C. Après quelque temps de séjour, les pièces sont sorties du récipient. La récupération du solvant peut être continue ou discontinue; dans le premier cas, le dissolvant chargé de graisse s'écoule dans un appareil distillatoire et les vapeurs condensées retournent au récipient de dégraissage. Dans le second cas, la récupération s'effectue souvent dans l'appareil de dégraissage lui-même qui peut être rapidement transformé en alambic.

Le dégraissage à la ponce ou à la chaux a été remplacé presque partout par le dégraissage électrolytique. On utilise pour cela des solutions alcalines. Les pièces sont prises comme cathode et la densité de courant est relativement élevée, soit de 7 à 15 A : dm^2; il se produit à la surface des pièces un abondant dégagement d'hydrogène qui contribue à éliminer la pellicule de matière grasse. Lorsqu'ils fonctionnent à froid, ces bains contiennent généralement du cyanure de potassium ou de sodium, utile surtout pour le traitement des alliages de cuivre.

(1) Marcel Ballay. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, mai 1933, t. x (4e série), p. 545-571, 8000 mots, 15 figures.

Voici une formule de bain de dégraissage électrolytique à froid : soude caustique, 12 kg ; cyanure de sodium : 3 kg ; eau, 100 l.

Les bains de dégraissage électrolytique donnent d'excellents résultats à chaud, particulièrement pour l'acier. On ajoute souvent une matière pulvérulente, alumine ou silice, qui parfait le dégraissage, soit par abrasion, soit par adsorption. Voici une formule utilisée pour le dégraissage de l'acier : eau, 100 l ; carbonate de soude cristallisé, 6 à 10 kg ; alumine en poudre fine, 2 kg.

Ce bain est employé au voisinage de l'ébullition avec une densité de courant de 10 à 15 A : dm^2. Il permet parfois de supprimer le dégraissage préalable aux solvants organiques.

2° *Corrosion.* — Les dépôts électrolytiques obtenus sur des surfaces simplement dégraissées comme il vient d'être dit et rincées ne sont pas toujours très adhérents, surtout s'ils sont épais. Il a été reconnu qu'il y avait intérêt à faire précéder le nickelage d'une corrosion légère qui modifie la surface et augmente l'adhérence dans de fortes proportions. Cette pratique est très générale aux Etats-Unis et commence à se répandre en France ; il faut remarquer que, dans certains cas, pour l'aluminium, par exemple, il est impossible d'obtenir de dépôt adhérent, même mince, sans corrosion préalable. La nature du bain de corrosion dépend évidemment de la nature de l'objet traité.

Pour l'acier on utilise souvent une solution diluée d'acide chlorhydriqne. La tendance moderne, du moins pour le nickelage très rapide, est dans la corrosion électrolytique par une solution d'acide sulfurique à 53 degrés Baumé, avec une densité de courant de 15 A : dm^2, les pièces étant placées à l'anode ; la corrosion dure de 10 à 30 secondes. Dans des solutions plus diluées, l'attaque est trop énergique et grave fortement les pièces ; les solutions plus concentrées sont trop peu conductrices.

Pour les alliages de cuivre, on dégraisse presque toujours dans une solution alcaline cyanurée ; après rinçage, les pièces sont placées pendant quelques minutes dans une solution d'acide chlorhydrique à 10 pour 100. L'auteur préconise la méthode suivante, particulièrement pour les pièces devant être chromées après nickelage : après dégraissage électrolytique dans un bain alcalin cyanuré, on inverse le courant pendant 30 secondes ; on rince, puis on passe pendant une minute dans une solution d'acide chlorhydrique à 10 pour 100.

Pour les alliages de zinc, les solutions d'acide chlorhydrique ou d'acide fluorhydrique au 1/10 conviennent bien ; on emploie aussi l'acide acétique.

Dans tous les cas, la corrosion doit être très légère, juste suffisante pour donner l'adhérence désirée ; si la corrosion est trop profonde, l'avivage ultérieur du dépôt est difficile et coûteux.

3. Caractéristiques des solutions employées pour le nickelage. — Le constituant principal des bains de nickelage industriels est toujours le sulfate de nickel (1) $SO^4Ni, 7H^2O$ auquel on ajoute divers produits : 1° Les sulfates alcalins, ammoniacaux ou magnésiens, augmentent la conductibilité et diminuent la concentration en ions Ni^{++} ; 2° Les sels halogénés, généralement des chlorures, augmentent la corrosion des anodes en évitant la passivité ; les bromures agissent comme les chlorures, mais le rôle des fluorures paraît tout autre ; 3° Les régulateurs d'acidité jouent le rôle de tampons, tels qu'acide borique, fluorure de sodium De plus, l'acide borique possède la propriété de donner de dépôts plus blancs ; 4° Les produits organiques ont une influence encore peu connue ; on peut les répartir en deux groupes : des corps comme les citrates ou l'acide citrique qui semblent diminuer la concentration en ions Ni^+ par la formation de complexes, d'où leur rôle dans le nickelage du zinc ; des colloïdes comme la dextrine, la gomme adragante qui donnent des dépôts très brillants, mais fragiles et ne paraissent intéressants que pour les dépôts très minces.

Ces différents groupes de produits sont rarement tou représentés dans les bains de nickelage courants ; les produits organiques sont souvent omis.

Pour augmenter la densité de courant, on tend à accroître la concentration en sel de nickel et la température de l'électrolyte.

Un facteur très important de l'opération de nickelage est la concentration en ions H^+ de la solution. Les dépôts obtenus dans des solutions trop alcalines, de p_H supérieur à 6,5, sont très fragiles, peu adhérents et de couleur foncée ; les solutions trop acides, de p_H inférieur à 4,5, sont très brillantes, mais aussi très fragiles. Le p_H optimum dépend de la composition de l'électrolyte, de sa température et de la densité de courant, mais dans la plupart des cas de nickelage à faible et moyenne densité de courant, cet optimum est compris entre 5,4 et 6,3. Pour les bains de nickelage très rapide, la limite supérieure de p_H est voisine de 5,7. Le p_H peut être mesuré par la méthode électrométrique ou à l'aide d'indicateurs colorés.

Les bains de nickelage actuellement utilisés peuvent se classer d'après la densité de courant cathodique possible, c'est-à-dire d'après la vitesse de travail, en trois catégories.

1° *Bains froids à faible densité de courant.* — Jusqu'en 1925, on n'utilisait guère en France que ce type de bains, constitué surtout de sulfate de nickel et de sulfate double de nickel et d'ammonium, avec, quelquefois, du sulfate de soude ou de magnésie, des chlorures pour faciliter la corrosion des anodes, etc. La densité de courant admissible dépasse rarement 0,5 A : dm^2. Voici quelques compositions de tels bains :

	I	II	III
$SO^4Ni, 7H^2O$.....	100 à 150 g	100 g	100 à 150 g
$SO^4Ni, SO^4Am^2, 6H^2O$...	—	50 g	—
NaCl.....	10 g	10 g	10 g
BO^3H^3.....	15 g	15 g	15 g
SO^4Na^2.....	0 à 100 g	—	—
$SO^4Mg, 7H^2O$	—	—	100 g
Eau.....	1 litre	1 litre	1 litre

2° *Bains chauds non agités.* — Ils fonctionnent à 30 ou 40°C, à densité de courant moyenne atteignant parfois 5 A : dm^2, sans agitation de l'électrolyte. Ces bains sont très employés aux Etats-Unis où, presque toujours, les pièces à nickeler sont déplacées dans la cuve de nickelage par une chaîne. La concentration en nickel de l'électrolyte est plus grande que dans les bains froids ; voici une formule très employée, permettant d'atteindre une densité de 3 à 4 A : dm^2 à la température de 40°C :

$SO^4Ni, 7H^2O$.....	200 à 250 g par litre
$NiCl^2, 6H^2O$.....	20 à 30 g
BO^3H^3	10 à 15 g

(1) Le chlorure de nickel peut être aussi employé, mais il est plus coûteux que le sulfate. Mentionnons encore l'emploi des fluoborates dans les bains étudiés par M. Hollard, qui donnent des dépôts d'une souplesse remarquable.

3° *Bains chauds agités.* — Il y a deux ans, est apparu en France un nouveau type de bain de nickelage permettant de travailler à des densités de courant dépassant 10 A : dcm^2. Les procédés classiques employés pour augmenter la densité de courant, c'est-à-dire l'agitation du bain, l'élévation de la température et l'accroissement de concentration du métal dans l'électrolyte n'ont pas permis, seuls, d'obtenir des résultats intéressants. Dans ces conditions, en effet, il se forme, à la surface des pièces, de petites bulles d'hydrogène, très adhérentes, au-dessous desquelles le métal ne se dépose plus ; les pièces traitées sont « piquées » et inutilisables. Pour remédier à cet inconvénient, il suffit d'ajouter à l'électrolyte de très petites quantités d'un agent oxydant; l'auteur préconise comme agent l'acide nitrique que l'on introduit dans le bain, soit sous forme d'acide pur, soit à l'état de nitrate de nickel.

Le p_H peut varier entre des limites assez larges sans que le rendement cathodique varie beaucoup ; toutefois, pour obtenir de bons dépôts épais, adhérents et peu fragiles, il y a lieu de maintenir le p_H entre 5,7 et 4,8.

Les bains utilisés pour ces densités de courant sont toujours à forte concentration en nickel. Le Centre d'Information du Nickel, qui a spécialement étudié et répandu cette méthode de nickelage, préconise la composition suivante :

$SO^4Ni, 7H^2O$.....	400 à 450 g par litre
$NiCl^2, 6H^2O$	22 g
BO^3H^3.....	22 g
Nitrate de nickel à 20 pour 100	environ 1 cm^3 par litre

L'électrolyte est agité par un courant d'air énergique, au moyen d'un tube de plomb percé de petits trous et placé au fond de la cuve. Il est utile de filtrer le bain fréquemment ou d'une façon continue.

Pour une densité de courant de 10 A : dm^2, la température doit être comprise entre 45 et 55°C; dans ces conditions, un dépôt de 0,025 mm est obtenu en moins de quinze minutes.

Cette méthode de nickelage s'est rapidement répandue en France, où elle a pris naissance ; elle permet d'obtenir très rapidement des dépôts épais, très peu fragiles et d'adhérence parfaite. Elle convient particulièrement bien pour le nickelage avant chromage.

4. Manutention des pièces et organisation des ateliers. — Les pièces à nickeler sont encore, très souvent, fixées à des crochets de laiton ou de cuivre par l'intermédiaire de fil métallique. Toutefois, ce procédé tend à disparaître dans les ateliers travaillant en série, car il est long et coûteux à cause de la main-d'œuvre qu'il exige. La tendance moderne est dans l'emploi de montages, spécialement étudiés pour chaque genre de pièces, sur lesquels les pièces sont immobilisées par des griffes amenant le courant ; ces montages se prêtent bien à une organisation rationnelle de travail.

Dans les bains fonctionnant à froid, à faible densité de courant, les pièces sont généralement immobiles. Pour éviter l'appauvrissement du bain autour des pièces et augmenter la densité de courant, les barres porte-cathodes sont quelquefois animées d'un mouvement de translation alternatif par excentrique.

Un perfectionnement a été apporté par l'emploi d'une chaîne sans fin tournant au-dessus des cuves et sur laquelle sont fixés les crochets supportant les pièces. Les pièces sont accrochées à la chaîne à une extrémité de la cuve, se déplacent dans le bain, puis sont décrochées à la même extrémité, la vitesse de déplacement étant calculée pour que la durée de séjour dans l'électrolyte soit suffisante.

L'emploi de ces chaînes ne résout cependant pas entièrement à lui seul le problème d'organisation de la manutention des pièces, car il ne concerne généralement que le dépôt électrolytique proprement dit et non la manutention des pièces pour le dégraissage, le rinçage, etc. Aux Etats-Unis, les pièces, après polissage, sont fixées à une chaîne qui les conduit dans les différents bains de dégraissage, corrosion, cuivrage, lavage, nickelage, etc. Des dispositifs ingénieux soulèvent les pièces et les font passer d'une cuve dans la suivante.

Les chaînes du type américain, très coûteuses, conviennent surtout aux très fortes productions ; en France, on a cherché à résoudre le problème par la réalisation de trains de cuves et des combinaison de montages. Dans cette conception, les cuves sont placées bout à bout, sans espace intermédiaire, et constituent un bloc dans lequel on rencontre successivement des compartiments permettant le dégraissage, la corrosion, le nickelage, les différents rinçages, etc. Les pièces placées sur les montages après polissage et lavage à l'essence, s'il y a lieu, passent successivement dans les différents compartiments; le passage d'un compartiment à l'autre se fait à la main ou à l'aide d'un palan. Ce mode de travail convient particulièrement bien aux méthodes modernes de nickelage à forte densité de courant ; les pièces séjournant peu de temps dans l'électrolyte, quinze minutes au maximum, le débit d'un train de cuves de dimensions restreintes est considérable.

5. Les anodes de nickel. — Le nickel déposé pendant le nickelage provient en majeure partie des anodes.

Or, tandis qu'une anode parfaite devrait se dissoudre pendant le passage du courant avec un rendement de 100 pour 100, toutes les anodes que l'on trouve dans le commerce sont plus ou moins passives ; une partie se dissout, mais une portion se désagrège par la corrosion et tombe au fond du bac ou flotte dans l'électrolyte, vient se déposer à la surface des pièces et donne des dépôts rugueux. Le plus souvent, le phénomène est encore compliqué par la formation d'un enduit noirâtre spongieux composé de graphite et de silice en faible quantité, mais surtout d'un oxyde supérieur de nickel encore peu connu, de composition probablement voisine de Ni^3O^2. Quelquefois, ce produit noirâtre se forme en abondance sous une mince couche de nickel non attaqué ; l'anode conserve en apparence sa forme primitive, puis la couche superficielle s'effondre entraînant des quantités importantes de matière noirâtre et de nickel non attaqué, tous deux perdus pour l'électrolyte.

On peut remédier à cet état de choses en agissant, soit sur la composition du bain, soit sur la composition des anodes.

Dans les bains ne contenant pas de chlorures, le noircissement de l'anode est rare, mais le rendement anodique est faible ; l'anode se dissout peu et le bain tend à devenir acide. Si l'on ajoute des ions Cl, le rendement anodique augmente rapidement. Hogaboom indique (1) que l'addition de 0,38 g de chlorure de nickel par litre fait passer le rendement anodique de 20,8 à 41,9 pour 100. Le même auteur relate d'intéressantes expériences desquelles il semble résulter que, pour un type d'anode déterminé, le noircissement disparaîtrait avec une teneur élevée en chlorure. Il est possible que l'aptitude à la formation d'oxyde noir passe par un maximum pour une certaine teneur en chlorure variable avec la composition de l'électrolyte.

(1) Hogaboom. *The Metal Industry*, t. xxvii, n° 4, p. 174.

Les recherches sur l'influence de la composition du bain sur la corrosion des anodes sont encore peu avancées, et on a cherché surtout à agir sur la composition et la préparation des anodes.

Depuis peu de temps des anodes spéciales, dites dépolarisées, ont été mises sur le marché en France. Aux Etats-Unis ces anodes ont donné d'excellents résultats et ont remplacé presque entièrement les anciennes anodes à 95-97 pour 100 de nickel, coulées ou laminées. Elles sont fournies en barres laminées à section elliptique, un mètre pesant 18 kg, avec une surface de 19 dm² pour la même longueur. Ces anodes sont constituées de nickel très pur volontairement oxydé. L'oxygène présent sous forme d'oxyde de nickel insoluble à l'état solide serait la cause d'une hétérogénéité régularisant la corrosion sans introduire de matières étrangères dans l'électrolyte; une analyse faite récemment a donné la composition suivante :

Ni + Co	99,75
Cu	0,033
Si	0,012
Fe	0,07
S	0,005
Mn	0,002
C	traces
O	0,15

Ces anodes sont souvent livrées, surtout aux Etats-Unis, après un traitement destiné à éliminer les couches superficielles qui sont quelquefois passives et donnent lieu, pendant les premiers jours de marche, à une sorte d'exfoliation. Ce traitement consiste en une corrosion anodique dans une solution d'acide chlorhydrique à 35 pour 100. D'après l'auteur, ce traitement n'est pas nécessaire; il suffit de brosser très énergiquement l'anode après quelques jours de fonctionnement; après ce brossage, la corrosion est parfaitement régulière. Les anodes étudiées par l'auteur se sont toujours beaucoup mieux comportées dans les bains contenant des chlorures que les meilleures anodes auxquelles elles étaient comparées, aussi bien dans les bains froids que dans les bains chauds à forte densité de courant. Elles sont beaucoup moins sujettes au noircissement et se corrodent plus régulièrement.

On utilise aussi, aux Etats-Unis, des empilages de disques plus ou moins épais et creux; au centre de ces disques, passe une tige de plomb. Dans certains cas, ces disques sont en nickel électrolytique. Ce montage a l'avantage d'utiliser plus complètement le nickel : on ajoute de temps en temps de nouvaux disques.

Pour les anodes dépolarisées, la suspension dans le bain est souvent faite, du moins aux Etats-Unis, à l'aide de crochets en métal Monel, peu oxydable et de résistance mécanique élevée. Ce montage ne permet pas l'emploi total de l'anode, la partie supérieure devant rester hors du bain. En France, des montages spéciaux ont été étudiés pour permettre l'immersion complète de l'anode dépolarisée; le crochet est recouvert par une matière isolante.

Dans les bains agités, si la filtration n'est pas continue, il est utile d'ensacher les anodes pour que les particules qui s'en détachent ne viennent pas se déposer à la surface des pièces et les rendre rugueuses.

6. Nickelage de l'acier. — Les dépôts électrolytiques étant toujours poreux sous de faibles épaisseurs, l'acier ne peut être protégé efficacement contre la formation de rouille que par un revêtement électrolytique de nickel d'épaiseur suffisante. L'expérience a montré qu'un dépôt de 0,025 mm constituait une bonne protection; un tel dépôt n'est pas absolument continu, mais ses cavités sont peu nombreuses et les rares taches de rouille qui se forment peuvent être facilement enlevées sans que l'apparence de la pièce en souffre.

Un dépôt de cette épaisseur peut être constitué de nickel seul ou d'une couche complexe de cuivre et de nickel. Ces deux procédés sont actuellement les seuls employés sur une grande échelle (1). Aux Etats-Unis, les couches complexes cuivre-nickel ou nickel-cuivre-nickel sont presque uniquement réalisées; il faut remarquer que dans ce pays, le nickelage très rapide, de création française, y est peu développé et que les méthodes utilisées ne permettent pas d'obtenir facilement des dépôts épais de nickel.

Le cuivrage préalable est intéressant lorsque les méthodes de nickelage très rapide ne peuvent être employées, dans les ateliers où la production est très diverse, par exemple. Le cuivre est plus facile à polir que l'acier et quelquefois on effectue un polissage grossier sur l'acier; on cuivre et on polit avec plus de soin ce premier dépôt, avant nickelage. Au polissage, le cuivre, relativement mou, a tendance à s'écraser et à boucher les pores en donnant un dépôt plus continu. Ces avantages sont compensés par des inconvénients : les manipulations sont plus longues; il faut dégraisser les pièces une fois de plus après le polissage du cuivre, avant nickelage; enfin, les risques de décollement du dépôt augmentent avec le nombre d'opérations. A ces inconvénients, il faut ajouter la nécessité de bains de cuivrage, bain de cyanure, toxique et de conduite délicate, ou bain acide, de conduite aisée; mais, dans ce dernier cas, trois dépôts successifs sont nécessaires : nickel, cuivre et nickel, le dépôt de cuivre en bain acide ne pouvant se faire directement sur l'acier.

La méthode de nickelage épais a pour elle l'avantage d'une grande simplicité; les méthodes modernes de dépôt à forte densité de courant qui l'ont rendu possible sont d'application très facile et se prêtent bien à une organisation rationnelle du travail à grand rendement. Cette méthode convient surtout à la production en série; un dépôt d'épaisseur suffisante peut être obtenu en moins de quinze minutes. Les mêmes méthodes rapides conviennent également pour le nickelage de la fonte.

7. Nickelage et chromage. — Les remarquables propriétés des dépôts de chrome ont donné à ce métal une place de premier plan dans la technique des revêtements électrolytiques. Le nickelage et le chromage se complètent l'un l'autre. Actuellement, le chrome ne peut être déposé de manière économiquement intéressante qu'en couches très minces : la durée de l'opération est de cinq minutes, et souvent moins; dans ces conditions, sous une densité de courant de 15 A : dm² et avec un rendement cathodique de 15 pour 100, l'épaisseur de chrome est de 0,001 mm. Un tel dépôt est poreux et ne peut constituer qu'une protection illusoire de l'acier. On est donc conduit naturellement à effectuer un premier dépôt épais imperméable et il est admis aujourd'hui que le nickel est le métal qui convient le mieux dans ce but : il est plus dur que le cuivre et possède la même couleur que le chrome. Cette dernière considération est importante, car le pouvoir de répartition du chrome est faible et de petits défauts dans la continuité de la couche de chrome, dans les angles des pièces, par exemple, défauts

(1) Le nickelage sur dépôt préalable de cadmium est également employé, mais sur une échelle beaucoup moindre.

qui passent inaperçus sur couche de nickel, seraient au contraire très visibles sur dépôt de cuivre.

L'opération de chromage constitue une épreuve très sévère pour le revêtement préalable de nickel du fait des tensions très importantes qui existent dans la couche de chrome. Le nickelage préalable doit donc être particulièrement soigné et son adhérence parfaite. Dans de nombreux ateliers de chromage, des rebuts importants sont imputables à la mauvaise exécution du nickelage. En général, les meilleurs résultats sont obtenus par le nickelage à chaud, donnant un dépôt moins fragile, après corrosion légère.

8. Nickelage du zinc. — Le zinc déplace le nickel des solutions employées pour le nickelage et se recouvre d'un dépôt noir pulvérulent de ce métal. Le nickelage du zinc présente donc quelques difficultés. Deux procédés sont utilisés : nickelage après cuivrage et nickelage direct avec des bains spéciaux.

Le cuivrage préalable permet de traiter toute sorte de pièces, quelle qu'en soit la complexité. Le cuivrage est effectué dans un bain cyanuré et le nickelage peut ensuite être terminé dans une solution quelconque.

Le nickelage direct est plus délicat et n'a pas encore reçu de solution entièrement satisfaisante. On utilise des solutions contenant soit du citrate de sodium, soit des doses massives de sulfate de sodium ou de magnésium, par exemple, répondant aux compositions ci-dessous utilisées à la température ordinaire :

	I	II
Sulfate de nickel cristallisé.....	20 kg	7 à 14 kg
Chlorure de nickel ou d'ammonium.	1,500 kg	1,300 kg
Acide borique.....	3 kg	1,600 kg
Citrate de sodium.....	10 kg	—
Sulfate de soude anhydre.....	—	10 à 12 kg
Eau	100 litres	100 litres

Pour éviter la dissolution du zinc avant que la pièce ne soit recouverte de nickel, il est nécessaire de commencer le dépôt avec une densité de courant élevée, 3 à 4 A : dm²; après quelques minutes, la densité de courant est ramenée à sa valeur normale, soit environ 0,7 A : dm². Si ce mode opératoire ne présente pas de difficulté avec une pièce de forme simple où la répartition du courant est très régulière, il n'en est pas de même avec une pièce présentant des saillies et des creux prononcés. Dans les creux, la densité de courant sera très faible et le zinc s'y dissoudra en se recouvrant d'un dépôt noir de nickel ; dans les angles saillants le dépôt tendra « à brûler ». L'opération est toutefois plus facile avec les alliages de zinc utilisés pour le moulage sous pression et le nickelage direct de ces alliages est de pratique courante aux Etats-Unis pour certaines pièces.

Les dépôts directs de nickel résistent mieux à la chaleur que les dépôts effectués sur cuivre ; dans ce dernier cas, en effet, la couche de cuivre est absorbée lentement par le zinc et le dépôt de nickel se cloque et ne présente plus qu'une adhérence très faible ; ce phénomène, qui peut demander plusieurs années à la température ordinaire, se produit en quelques heures à 100°C.

9. Nickelage de l'aluminium. — Différentes méthodes peuvent être envisagées ; elles consistent toutes à créer sur la surface des pièces des rugosités dans lesquelles le dépôt s'ancre ; on remarque, en effet, que sur un objet d'aluminium bien dégraissé, le dépôt n'est pas adhérent. Ce fait est attribué à la formation d'une pellicule d'alumine extrêmement mince qui forme une solution de continuité entre le métal constituant l'objet et la couche de nickel.

Les rugosités facilitant l'adhérence du dépôt sont obtenues par corrosion chimique ou mécaniquement, par décapage au jet de sable.

10. Méthodes d'essais des couches nickelées et résultats donnés par les méthodes modernes. — L'adhérence peut être évaluée par les essais d'emboutissage, de pliage ou de torsion. Le dépôt est effectué sur une bande ou une plaque mince que l'on soumet à l'essai après avivage en notant la déformation pour laquelle le dépôt commence à lever ou à se fissurer. L'essai le plus sévère consiste à plier la tôle à bloc, puis à l'ouvrir à nouveau en continuant ces pliages successifs jusqu'à rupture ; les dépôts effectués dans de bonnes conditions sur acier ou alliage de cuivre supportent cet essai sans aucun décollement autour de la cassure, même si leur épaisseur atteint 0,025 mm.

L'appréciation de la valeur de protection conférée par le dépôt est plus délicate ; ce problème est surtout intéressant pour le fer et l'acier, quoiqu'il se pose également pour l'aluminium, les alliages de zinc et de cuivre. La préparation des pièces avant nickelage est très importante et influe fortement sur la résistance à la corrosion ; les inclusions d'oxyde qui ne sont pas enlevées au polissage, par exemple, constituent des points de moindre résistance où la rouille apparaît facilement. Les dépôts électrolytiques sont toujours poreux, surtout lorsqu'ils sont minces, mais la valeur de protection croît avec l'épaisseur et beaucoup plus rapidement qu'elle.

Le nombre de piqûres d'un dépôt de nickel effectué sur acier peut être déterminé à l'aide de papier au ferricyanure de potassium chloruré (1) ; il se forme des taches bleues en tous les points où le fer est à nu. Cette méthode d'essai est extrêmement sensible.

L'essai au brouillard salin est plus intéressant encore. Les pièces à essayer sont placées dans une caisse où l'on pulvérise un brouillard d'eau salée ; cette atmosphère attaque rapidement l'acier partout où il est à nu et les taches de rouille apparaissent. On peut examiner les pièces à intervalles réguliers et noter après combien de temps apparaît la première tache de rouille, puis le nombre de taches après un temps donné. Les dépôts médiocres lèvent autour des taches. On peut également soumettre les plaquettes nickelées aux essais d'emboutissage et de pliage après corrosion.

Les méthodes modernes de nickelage permettent d'obtenir les résultats suivants sur tôle d'acier polie au préalable, nickelée, puis avivée après nickelage :

Emboutissage jusqu'à rupture de la calotte sans décollement autour de la rupture ; pliage à bloc répété jusqu'à rupture de la tôle sans décollement ; séjour de 100 heures dans le brouillard d'eau salée à 20 pour 100 de chlorure de sodium sans aucun décollement ni soulèvement du dépôt. Les taches de rouille doivent être peu nombreuses et disparaître facilement par avivage sans laisser de traces très visibles.

11. Conclusion. — L'auteur conclut en insistant sur l'importance du contrôle scientifique dans l'industrie du nickelage. Les méthodes modernes de nickelage à moyenne et forte densité de courant ont fait leurs preuves ; on leur a

(1) J. Cournot ; Sur une nouvelle méthode d'essai de l'opacité des recouvrements protecteurs contre la corrosion. *Revue de Métallurgie*, 1929. t. XXVI, p. 76.

reproché d'exiger un contrôle précis de la concentration en ions H par exemple; mais il a fallu reconnaître que leurs avantages compensaient amplement la mesure du p_H; c'est seulement parce que l'on exigeait peu des anciennes méthodes qu'elles ne demandaient pas de contrôle. — A. C.

Une réalisation industrielle de l'accumulateur plomb-zinc : l'accumulateur léger Pouchain (1).

1. Etude du couple plomb et zinc. — La force électromotrice de l'élément formé par une lame de plomb peroxydé et une lame de zinc dans une solution d'acide sulfurique est de 2,5 v environ. Lors de la décharge, il y a lieu de distinguer deux stades dans les réactions qui se produisent. Dans le premier stade, le zinc à l'électrode négative se dissout et se transforme en sulfate de zinc, tandis que le peroxyde de plomb de l'électrode positive est réduitet transformé en sulfate de plomb, soit

$$PbO^2 + 2SO^4H^2 + Zn = SO^4Pb + 2H^2O + SO^4Zn.$$

Lorsque la totalité de la matière positive est transformée en sulfate de plomb, l'élément est encore susceptible de développer une force électromotrice de 0,5 v. Si la décharge se poursuit dans ces conditions, on trouve le deuxième stade dans lequel il y a encore dissolution de zinc et transformation en sulfate de zinc, mais réduction du sulfate de plomb en plomb avec régénération d'acide sulfurique, soit

$$SO^4Pb + SO^4H^2 + Zn = Pb + SO^4H^2 + SO^4Zn.$$

Cette réaction, comme la précédente, est entièrement réversible. La figure 1 montre la variation de la force électromotrice de cet élément durant la décharge en fonction du temps.

2. Constitution de l'accumulateur Pouchain. — L'électrode positive de cet accumulateur ne diffère pas d'une électrode positive de l'accumulateur au plomb ; la plaque négative est constituée par une grille en cuivre rouge de faible épaisseur

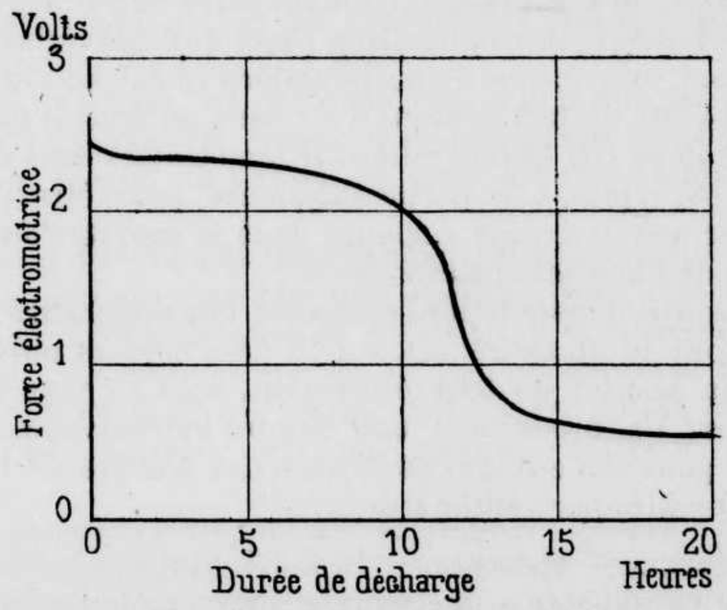


Fig. 1. — Courbe de la variation de la tension d'un accumulateur au plomb-zinc en fonction du temps pendant la décharge.

montée sur un cadre également en fil de cuivre, de forte section. La grille seule doit recevoir le dépôt de zinc, d'où la nécessité de recouvrir le cadre d'une matière isolante, susceptible de résister à l'action de l'acide. L'électrolyte est constitué par une solution d'acide sulfurique à 20° Baumé. Le problème essentiel de la technique de l'accumulateur Pouchain est celui de la réalisation de ce dépôt de zinc qui doit satisfaire à deux conditions : ne pas se dissoudre à circuit ouvert et être parfaitement régulier. On obtient le premier résultat en amalgamant le dépôt de zinc initial et en entretenant l'amalgame pendant toute la durée de l'accumulateur par des dispositions que l'auteur ne précise pas. Quant à la régularité du dépôt, elle dépend de la nature du métal tenant lieu de support ; à ce point de vue, le cuivre donne des résultats satisfaisants. Elle dépend aussi de la répartition de la charge électrique sur l'électrode négative, de la composition de l'électrolyte et de la pureté des substances employées L'électrolyte qui semble devoir le mieux convenir est la solution spécifiée plus haut, c'est-à-dire à l'acide sulfurique à 20 degrés Baumé. En ce qui concerne les impuretés, comme elles ne peuvent être toutes évitées dans une fabrication industrielle, il y a lieu de faire une sélection entre celles qui sont nuisibles et celles qui peuvent être introduites ; on évitera l'antimoine et le cuivre, tandis que le fer ne semble pas être plus nuisible que dans les accumulateurs au plomb.

L'emploi de séparateurs en bois constituant de véritables diaphragmes est favorable au bon fonctionnement de l'élément.

3. Comparaison de l'accumulateur Pouchain et de l'accumulateur au plomb. — 1° *Energie massique.* — L'auteur compare deux batteries de même capacité, 60 A-h, de même tension, 12 v, et donne les nombres suivants permettant d'établir la comparaison :

Poids total des plaques : plomb-plomb, 18,700 kg; plomb-zinc, 12,150 kg ;

Poids total de la batterie: plomb-plomb, 35 kg ; plomb-zinc, 26 kg ;

Pour des éléments de plomb-zinc plus puissants, le rapport du poids total de la batterie à celui des plaques diminue.

2° *Variation de la capacité en fonction du régime de décharge.* — La capacité de l'accumulateur Pouchain diminue moins rapidement avec la durée de la décharge que celle de l'accumulateur au plomb. Ainsi pour un élément de 34 A-h, M. Antoine donne les nombres suivants :

Durée de décharge h	Capacité en centièmes. Accumulateur plomb-zinc	Accumulateur plomb-plomb
10	100	100
6	91	91
3	83,5	78,5
2	81	71,6
1,5	79,5	66
1	76,5	60,5
0,5	73	45,4

3° *Résultats d'essais des batteries de démarrage.* — Deux batteries de 12 v, l'une au plomb-zinc, l'autre au plomb-plomb, pesant respectivement 22 kg et 32 kg, ont été soumises à une série de décharges intermittentes sur résistances, à un régime de 180 A pendant 10 s avec des interruptions de 10 s. La batterie au plomb a donné 26 décharges, ou 13 A-h, pour une durée de décharge totale de 4,32 mn et la batterie Pouchain, 38 décharges, ou 19 A-h, pour une durée de décharge totale de 6,34 mn.

La figure 2 montre les variations de la tension avec le nombre des décharges pour l'une et l'autre batteries. Après

(1) Antoine. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, avril 1930, t. x (4e série), page 427-448, 4500 mots, 14 figures.

les avoir chargées suivant les régimes respectifs représentés par les courbes de la figure 3, il fut procédé à un nouvel

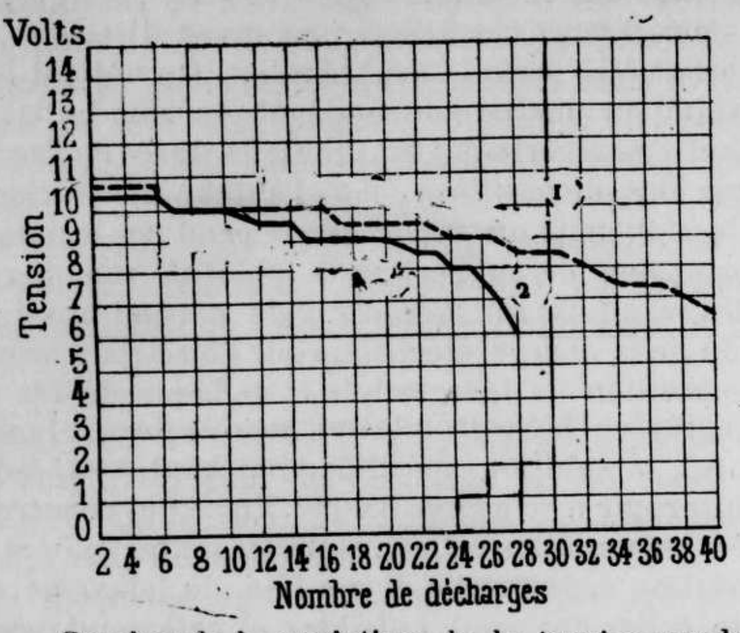


Fig. 2. — Courbes de la variation de la tension pendant des décharges successives et interrompues : 1, d'une batterie au plomb-zinc ; 2, d'une batterie au plomb-plomb.

essai sur un moteur, type démarreur d'automobile, freiné pour que le courant soit sensiblement constant et égal à 160 A,

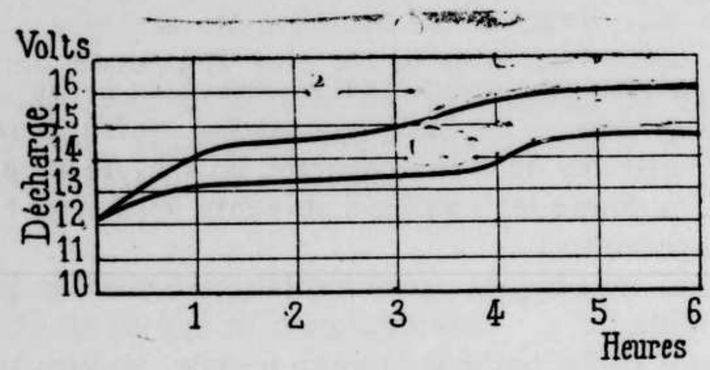


Fig. 3. — Courbes de la variation de la tension en fonction du temps pendant la charge : 1, d'une batterie au plomb-zinc ; 2, d'une batterie au plomb-plomb.

les décharges ayant une durée de 10 s et étant séparées par des interruptions de 10 s. Les résultats de ces décharges sont les suivants :

	Accumulateur plomb-zinc	Accumulateur plomb-plomb
Durée, en heures	0,1585	0,1
Courant fourni, en ampères	160	160
Tension moyenne, en volts	10	9,45
Puissance moyenne, en watts	1 600	1 510
Capacité fournie, en ampères-heures	25,3	16
Rendement en quantité d'électricité	0,60	0,38
Energie fournie aux batteries, en watts-heures	570	625
Energie restituée, en watts-heures	253	151
Rendement en énergie	0,445	0,245

4. Conclusion. — Sans résoudre le problème de l'accumulateur léger, l'accumulateur Pouchain marque néanmoins un progrès « puisque, conclut l'auteur, dans tous les cas où les décharges ont une durée comprise entre 1 h et 5 h ils sont susceptibles de fournir, à poids égal, une énergie de 70 à 100 pour 100 plus grande ». — A. C.

Utilisation du poussier de lignite comme combustible sous forme pulvérisée (1).

1. Introduction. — Il existe en Toscane, à Vardano, de vastes gisements de lignite qui constituent à eux seuls en Italie environ le tiers des ressources en combustible fossile. Depuis plusieurs années on a cherché à obtenir l'utilisation rationnelle des déchets de ce combustible, mais sa teneur élevée en humidité et en cendres est demeurée longtemps un obstacle à la résolution de ce problème. Toutefois, durant ces dernières années, les difficultés ont été surmontées, c'est ainsi que l'installation de l'usine de Castelnuovo dei Sabbioni, dont la description est donnée dans le présent article, comporte six chaudières alimentées par ce combustible et fournissant la vapeur nécessaire à la production d'une puissance de 5 000 kw en énergie électrique.

2. Combustible. — Le combustible utilisé dans cette installation n'est pas le lignite proprement dit, mais seulement le poussier obtenu par criblage des déchets provenant de l'exploitation des gisements.

La composition de ce poussier est la suivante : Matières combustibles 33 pour 100 ; Humidité 50 pour 100 ; Cendres 17 pour 100.

Son pouvoir calorifique est de 2 000 calories par kilogramme, sur lesquelles 1 500 calories sont utilisables en réalité dans les foyers (à cause de l'eau contenue dans le combustible).

Les matières combustibles sont constituées par des substances volatiles (60 pour 100) et par du carbone fixe.

Le calcul montre que dans ces conditions la combustion complète nécessite 2,6 m^3 d'air par kilogramme de poussier. En pratique, il est loin d'en être ainsi et la quantité d'air nécessaire est environ le double de la quantité théorique.

3. Description de l'usine de Castelnuovo dei Sabbioni. — Le poussier, recueilli dans une mine voisine est versé dans un silo d'où il est repris par un élévateur. De là, il passe dans un sécheur cylindrique tournant, à axe horizontal, traversé par un courant de gaz chauds provenant d'un foyer.

A la fin de son parcours, le poussier tombe dans une trémie, puis dans un conduit en fer qui alimente un deuxième élévateur; les gaz qui ont servi au séchage s'échappent, de leur côté, à la partie supérieure de la trémie après avoir été débarrassés, par l'action d'un séparateur « cyclone », des poussières combustibles entraînées.

De l'élévateur, le combustible passe aux pulvérisateurs; il en sort sous forme d'une poussière impalpable qui est entraînée par un fort courant d'air dans un nouvel appareil cyclone où se fait la séparation. Il tombe alors dans un silo d'où il est repris, à la partie inférieure, pour être projeté avec une quantité d'air réglable dans la chambre de combustion de l'une des chaudières.

En réalité, l'installation comporte deux sécheurs tubulaires dont le diamètre est voisin de 2 m. Les pulvérisateurs, au nombre de deux également, sont du type à trois pendules; ils produisent une poudre excessivement fine dont 85 pour 100 environ peut passer au travers d'un tamis à 1 600 mailles par centimètre carré.

4. Résultats obtenus. — Il a été possible, avec cette installation, d'obtenir une marche continue de l'usine avec une consommation de 4,3 kg de combustible par kilowatt-heure produit. C'est là un résultat très intéressant en raison du faible pouvoir calorifique du poussier utilisé.

Il convient de remarquer que la puissance de l'usine a pu être portée à 5 000 kw, alors qu'il était difficile précédemment d'atteindre 2 500 kw ; d'autre part, la consommation indiquée ci-dessus tient compte de la perte de chaleur correspondant au séchage du combustible et de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'installation de pulvérisation. — B. E.

(1) U. Legnaioli. *L'Elettrotecnica*, 15 mai 1930, t. XVII, p. 326-333, 2 500 mots, 18 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie lorraine d'Electricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 16 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 40 millions de francs, et dont le siège social est à Nancy, 64, rue du Faubourg-Stanislas, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La sécheresse exceptionnelle qui a caractérisé une grande partie de l'année écoulée a imposé aux usines un régime de marche particulièrement sévère, surtout vers la fin de l'automne : obligée, en effet, de suppléer à l'absence des disponibilités hydrauliques habituelles chez une partie de sa clientèle industrielle, la compagnie s'est trouvée en même temps privée de tout apport d'énergie de Suisse.

Elle a dû faire appel à la presque totalité de la puissance thermique dont elle dispose, tant dans ses usines que par ses contrats d'achat à l'extérieur. A elles seules, ses deux usines génératrices de Vincey et de Nancy ont dû produire 92 millions de kilowatts-heures contre 63 millions l'année précédente. Aussi, bien que ce régime de marche ait été dû à des circonstances tout à fait exceptionnelles, la compagnie a jugé que le moment était venu de réaliser un programme d'extension dont une étude antérieure avait permis d'arrêter les grandes lignes.

Ce programme comprend : le doublement, en deux étapes, de la puissance de l'usine de Vincey qui passerait ainsi de 40 000 à 80 000 kw par l'installation de deux unités de 20 000 kw chacune, à 35 kg : cm² de pression, et des chaudières correspondantes; le renforcement des lignes d'interconnexion avec les producteurs voisins, notamment en direction du bassin de Briey.

Dans le même but, la compagnie a pris une participation importante dans les projets d'aménagement des cours supérieur et moyen du Doubs; et, pour assurer l'adduction de cette énergie, elle a décidé la création d'une importante artère en direction de Ronchamp-Saint-Hippolyte, artère qui lui donnera par surcroît une augmentation notable de sa capacité d'échange avec la Suisse et, ultérieurement, avec le Rhin. On prévoit que ces divers aménagements, exception faite de ceux du Doubs, dont la réalisation est à plus lointaine échéance, pourront entrer en service à l'automne 1931.

La compagnie a, en même temps, prévu le renforcement de ses réseaux de distribution, notamment en direction de Nancy, dont l'usine d'alimentation va être portée de 20 000 à 40 000 kw.

Le programme technique comporte à la fois un renouvellement et une augmentation de l'outillage industriel; c'est en prévision de cet effort qu'au cours des derniers exercices il a été réservé une part importante des produits industriels pour les affecter aux fonds de renouvellement et de prévoyance. Toutefois, les disponibilités seraient insuffisantes pour faire face, à elles seules, à un programme qui dépasse 50 millions de francs ; par ailleurs, il paraît nécessaire de maintenir le capital social en harmonie avec l'importance des immobilisations, en le portant de 40 à 60 millions de francs.

C'est la proposition sur laquelle les actionnaires ont eu à se prononcer à l'issue de l'assemblée générale ordinaire et qu'ils ont ratifiée.

En dehors du développement de l'action de la compagnie dans la région du Doubs, il y a lieu de signaler, en ce qui concerne les filiales, dont la marche a été généralement satisfaisante, une augmentation de capital la Société Energie électrique de Meuse-et-Marne, et une augmentation de capital de la Société meusienne d'Electricité; elle a souscrit la totalité des actions auxquelles elle avait droit.

Au bilan, en dehors d'une progression normale des immobilisations, il n'y a à signaler que l'augmentation de l'actif réalisable (1) : ce chapitre s'est accru, en effet, de 20 millions de francs, provenant pour la plus grande part des postes caisses et banques et débiteurs divers, tandis qu'au passif, l'exigible à court terme n'est en augmentation que de 7 millions de francs.

Les produits industriels, après les dépréciations d'usage, se montent à 31 558 306 fr, en augmentation de 6 070 000 fr sur ceux de l'année précédente.

En raison de l'important programme de travaux dont il vient d'être question, le prélèvement au profit du fonds de prévoyance est porté de 2 à 4 millions de francs.

Après déduction des charges d'intérêts et d'amortissements, il reste un solde bénéficiaire de 18 565 276 fr, contre 14 994 193 fr l'année dernière.

Cette augmentation des bénéfices nets permettrait d'envisager un accroissement du dividende; mais la perspective d'avoir à rémunérer l'an prochain un capital beaucoup plus important, jointe au désir d'assurer, dans la mesure où les résultats de l'exercice en cours confirmeraient ceux de 1929, une certaine continuité dans les répartitions, conduisent à maintenir la répartition aux actions et parts au même chiffre de 8 millions de francs que l'année dernière; à reprendre l'attribution à la réserve légale, pour porter cette dernière à 6 millions de francs; enfin à affecter au report à nouveau le disponible, après prélèvement de 4 millions de francs pour le fonds de prévoyance,

La répartition des bénéfices se présente dès lors de la manière suivante : à la réserve légale, 2 000 000 fr; dividende statutaire de 6 pour 100, 1 409 937 fr.

Sur le solde, soit 15 155 339 fr il est attribué 5 pour 100 au conseil, soit 757 767 fr; au fonds de prévoyance, 4 millions de francs; aux actions, un intérêt de 12 pour 100, 4 800 000 fr; aux parts (80 fr), 3 200 000 fr.

Le report à nouveau de 2 397 572 fr s'ajoutant au reliquat de l'année dernière 3 939 689,85 fr formerait un total à reporter de 6 337 261,85 fr.

Le dividende net mis en paiement le 2 juin 1930 est ainsi

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre 1929, t. XXVI, p. 459.

de 15,12 fr pour les actions nominatives libérées; 12,927 fr pour les actions au porteur libérées; 11,34 fr pour les actions libérées du quart; 67,20 fr pour les parts de fondateur nominatives; 49,824 fr pour les parts de fondateur au porteur.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Immobilisations faisant retour à l'Etat et aux communes :	
Concessions, terrains, postes, canalisations et branchements Nancy	21 910 400 »
Concessions, terrains, postes, canalisations à haute tension et à basse tension, réseaux communaux et branchements distribution régionale	48 765 300 »
Entreprise d'incinération	895 600 »
Immobilisations restant la propriété de la compagnie :	
Immeubles, terrains et usines de Nancy	8 027 600 »
Immeubles, terrains et usines de Vincey et distribution régionale	28 311 000 »
Mobilier, compteurs, installations d'abonnés Nancy	2 758 300 »
Mobilier, compteurs, installations d'abonnés Vincey et distribution régionale	5 104 901 »
Travaux en cours	2 459 500 »
Caisses et banques	20 934 207,35
Actionnaires	16 501 050 »
Débiteurs divers	44 907 898,90
Marchandises en magasin et approvisionnements	9 578 643 »
Titres et participations	12 888 083 »
Frais de constitution	1 »
Frais d'émission	1 »
Frais d'études et de mise en route	1 »
Prime de remboursement	1 »
	223 042 487,25

Passif.

	fr
Capital	40 000 000 »
Réserve légale	4 000 000 »
Fonds d'amortissement :	
par obligations amorties	10 278 500 »
par prélèvement sur produits industriels	29 494 447,25
Fonds de renouvellement	15 113 000 »
Fonds de prévoyance	14 400 000 »
Obligations 4 pour 100, 4,5 pour 100, 6 pour 100 et 6,50 pour 100, non amorties	52 374 000 »
Travaux en cours, fournisseurs, provisions et créditeurs divers	32 254 339,35
Coupons à payer, obligations à rembourser	2 623 234,80
Reliquat de l'exercice antérieur	3 939 689,85
Bénéfices net de l'exercice	18 565 276 »
	223 042 487,25

Société de Force et Lumière électriques (Forclum).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 20 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 67, rue de Dunkerque, nous extrayons les renseignements suivants :

Le chiffre d'affaires, pour cet exercice, a marqué une progression de 27 pour 100 sur celui de l'exercice précédent. Cet accroissement est dû en partie à l'activité plus grande des divers services et, en partie aussi, à leur extension par la création d'agences nouvelles ou l'achat d'entreprises dans la banlieue parisienne (1).

La collaboration avec la Société française des Poteaux électriques s'est normalement poursuivie; il a été, en accord avec cette société, exécuté d'importants travaux à l'avantage des deux sociétés.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 20 juillet 1929, t. XXVI, p. 114.

L'extension prise par les services de la société dont nous nous occupons l'a obligée à procéder, pour le siège social, à l'aménagement de nouveaux locaux dont les travaux sont actuellement en cours d'exécution.

Les immobilisations qu'il a fallu engager soit pour l'aménagement des nouvelles agences, soit pour assurer l'exécution dans de bonnes conditions des travaux dont la société a reçu commande, ont été facilitées par les avances qui ont été consenties par les sociétés de distribution qui sont ses principaux actionnaires; une partie importante de ces avances a pu être remboursée au moyen des ressources que lui a procurées l'augmentation de capital ratifiée par l'assemblée générale du 2 juillet 1929.

En prévision de l'application de la loi sur les assurances sociales, la société a demandé la reconnaissance officielle de la société de secours mutuels qui groupe actuellement près de 2 000 membres de son personnel et du personnel des sociétés alliées. L'utilisation de la société de secours mutuels permettra d'appliquer la loi sur les assurances sociales au mieux des intérêts de ses adhérents.

Le bénéfice d'exploitation de l'exercice 1929 s'est élevé, tous frais généraux déduits, à 2 821 083,97 fr.

Il a été prélevé sur cette somme : pour annuité d'amortissement, 1 553 001,50 fr; pour amortissement partiel des frais d'augmentation de capital, 304 130 fr.

Il reste disponible une somme de 963 952,47 fr sur laquelle il y a lieu de déduire, pour la réserve statutaire, 48 197,62 fr.

Le solde de 915 754,85 fr est réparti de la façon suivante : dividende de 6 pour 100, soit 30 fr par action, aux 22 000 actions O anciennes, 660 000 fr; dividende de 6 pour 100 prorata temporis, soit 6,64 fr par action, aux 12 000 actions O nouvelles et aux 6 000 actions P, 119 520 fr; tantièmes statutaires, 27 246,97 fr.

Il reste une somme de 108 987,88 fr à laquelle s'ajoute le report des exercices antérieurs de 209 024,95 fr.

Le total, soit 318 012,83 fr, serait reporté à l'exercice en cours.

Le dividende net se trouve ainsi fixé : 26,49 fr par action O ancienne nominative n° 1 à 22 000; 25,86 fr par action O ancienne au porteur n° 1 à 22 000; 5,86 fr par action O nominative ou au porteur n° 22 001 à 34 000 et par action P n° 1 à 6 000.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Immeubles, matériel, agencement, outillage et divers	23 135 164,33
Frais d'augmentation de capital	304 130 »
Marchandises en magasin	9 690 510,49
Travaux en cours	11 188 295,79
Portefeuille	971 087,50
Caisses et banques	1 947 265,89
Débiteurs divers	22 801 265,07
	70 037 719,07

Passif.

	fr
Capital	20 000 000 »
Réserve statutaire	172 817,10
Primes d'émission	540 000 »
Fonds d'amortissement général	4 770 570,88
Avances sur travaux en cours	8 371 217,90
Fournisseurs et effets à payer	23 246 843,15
Créditeurs divers	11 811 490,24
Profits et pertes :	
Report des exercices antérieurs	209 024,95
Solde créditeur de l'exercice 1929	915 754,85
	70 037 719,07

SECTION DE LÉGISLATION

L'enregistrement des accords entre concessionnaires de chutes et titulaires de droits d'eau

Des difficultés peuvent parfois survenir au sujet de l'enregistrement des accords conclus entre un concessionnaire de chute d'eau et un titulaire de droits d'eau qui se trouve lésé du fait des aménagements afférents à la concession. Afin de fixer les idées sur la question, l'auteur du présent article examine la détermination des droits d'enregistrement à percevoir sur ces accords, le régime fiscal qui leur est applicable et enfin discute de la nature même de ces indemnités à allouer à un titulaire de droits d'eau pour privation de la force motrice. L'auteur termine en indiquant le montant des droits d'enregistrement précités.

I. **Introduction**. — Des accords sont fréquemment conclus entre un concessionnaire de chute et un titulaire de droits d'eau qui voit la force motrice dont il disposait diminuée par le fait des installations nouvelles faisant l'objet de la concession. Sans doute, l'article 6 de la loi du 16 octobre 1919 confère au concessionnaire la possibilité d'évincer ces droits d'eau moyennant une indemnité qui doit être, en principe, allouée en nature, sauf décision du juge civil. Mais il appartient évidemment aux intéressés de fixer d'un commun accord la nature, l'étendue et les modalités de l'indemnité; ces accords sont prévus implicitement à l'article 6 § 5 et explicitement à l'article 10, n° 6, in fine de la loi et l'article 23 du cahier des charges type des concessions de chute vise expressément les « accords intervenus »; le texte du type porte en note: « On enregistrera ici, dans le cas où l'acte de concession, par application de l'article 6 de la loi, accorde une réparation en nature pour le paiement des droits exercés..., les accords intervenus entre le concessionnaire et les intéressés ».

Quels seront les droits d'enregistrement qui devront être perçus sur ces accords?

II. **Des droits d'enregistrement à percevoir**. — Les entreprises d'intérêt public bénéficient, dans notre organisation financière, de faveurs fiscales qui s'expliquent par le but même qu'elles poursuivent. C'est ainsi que la loi du 3 mai 1841 sur l'expropriation décide dans son article 58 que « les plans, procès-verbaux, certificats, significations, jugements, contrats et autres actes faits en vertu de la présente loi, seront visés pour timbre et enregistrés gratis ». (Voir aussi l'article 315, § 2, n° 43, du décret du 28 décembre 1926, portant codification des droits d'enregistrement). Il en est de même des actes concernant l'occupation temporaire des propriétés pour l'exécution de travaux publics (loi du 29 décembre 1892, article 19, et décret du 28 décembre 1926, article 315, § 2, n° 90).

D'autre part, « toutes conventions relatives aux concessions et rétrocessions de chemins de fer d'intérêt local, de tramways, ainsi que les cahiers des charges annexés » bénéficient de l'enregistrement au droit fixe de 22,50 fr (article 270, § 5, n° 49, du même décret de codification).

La loi du 16 octobre 1919, malgré le caractère d'intérêt public qu'elle a attaché à l'aménagement des chutes d'eau par voie de concession, n'a établi en faveur de ces entreprises aucune faveur d'ordre fiscal et c'est seulement la loi du 11 juillet 1928 qui a comblé cette lacune en décidant: 1° que les concessions, cahiers des charges et substitution ou cession seraient taxés au droit fixe de 22,50 fr; 2° que tous « jugements, contrats, quittances et autres faits en vertu de l'article 4 de la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique » seraient, par assimilation aux actes de même nature intervenus au cours de la procédure d'expropriation, enregistrés gratuitement.

Les accords intervenus entre un concessionnaire et un riverain, au sujet de l'indemnisation due à ce dernier pour privation ou diminution de ses droits d'eau ne sauraient, à mon sens, bénéficier de cette dernière faveur. L'article 2 de la loi du 11 juillet 1928, la réserve en effet aux seuls « actes faits en vertu de l'article 4 de la loi du 16 octobre 1919 »; or, cette disposition vise uniquement les rapports entre concessionnaires et propriétaires soumis à l'occupation de leurs terrains en vue de l'aménagement de la chute.

Au contraire, les accords qui font l'objet de la présente étude sont ceux qui sont conclus en vertu de l'article 6 visant les relations du concessionnaire avec les riverains à raison des droits d'eau dont ceux-ci peuvent être titulaires et qui seraient diminués ou supprimés par les travaux du concessionnaire.

Sans doute, on aurait pu concevoir que la loi de 1928 visât également et établit dans les mêmes conditions l'enregistrement gratuit des accords conclus par le concessionnaire au sujet, soit des occupations de

terrain, soit de l'éviction des droits d'eau. Elle ne l'a pas fait et par suite le privilège qu'elle établit expressément en faveur des conventions de l'article 4 ne saurait être étendu aux accords de l'article 6 : on ne peut, en effet, ajouter à une loi dérogatoire au droit commun. C'est d'ailleurs dans ce sens que s'exprime l'instruction du 31 octobre 1928 de l'Enregistrement au sujet de l'application de la loi précitée; elle déclare expressément que « l'exonération ne peut pas profiter aux actes et conventions passés à l'occasion de la concession, tels que les accords intervenus avec les riverains évincés de leurs droits à l'usage de l'eau (articles 6 et 10, 6° de la loi de 1919) ».

III. **Régime fiscal applicable aux accords.** — Les accords en question sont donc soumis au droit commun. Pour déterminer le régime fiscal qui leur est applicable, il convient de distinguer suivant que l'indemnité a été stipulée en argent ou en nature.

S'ils se réfèrent à une somme d'argent, on doit considérer que l'on se trouve en présence d'une indemnité accordée par contrat à l'une des parties en vue de compenser la perte imposée à une autre. Par suite, ils doivent donner lieu à la perception du droit de 0,75 pour 100 sur le montant de l'indemnité stipulée.

Le texte applicable en la matière est l'article 69 § 2, n° 8, de la loi du 22 frimaire an VII, qui vise les « indemnités mobilières ». Après de longues discussions sur la portée de ce texte, la jurisprudence est aujourd'hui fixée en ce sens que « les indemnités (au sens de la loi du 22 frimaire) consistent dans la représentation à titre de restitution de la valeur d'une chose ou d'un droit dont le réclamant a subi la perte et dans la mesure exacte de cette valeur (1) ». Une autre décision donne une formule plus précise encore : « Les indemnités, loin de créer une valeur nouvelle, rétablissent une valeur préexistante par le remplacement à titre de restitution dans le patrimoine de l'indemnitaire de la chose ou du droit dont celui-ci a subi la perte (2) ».

Tels sont bien les caractères des accords envisagés entre le concessionnaire et le titulaire de droits d'eau : ils tendent en effet à replacer dans le patrimoine de ce dernier une valeur représentative de la force motrice dont il a été privé. Ajoutons que l'article 6 de la loi prononce à deux reprises à ce sujet le mot « indemnité ».

Cette solution était déjà admise avant la loi du 16 octobre 1919. « Lorsque le voisinage d'une usine ou *la retenue des eaux qui l'alimentent* ont occasionné un préjudice, les dommages-intérêts donnés ou promis pour le réparer sont des indemités passibles du droit de 0,50 pour 100 » (aujourd'hui porté à 0,75 pour 100 par la loi du 22 mars 1924). Ainsi s'expriment les auteurs du « Traité des droits d'enregistrement » des rédacteurs (3). Telle est aussi la doctrine exposée par Garnier (4).

(1) Cour de Cassation, 28 mars 1870, S. 1870, 1272.
(2) Cour de Cassation, 28 avril 1872, S. 1872, 1308.
(3) *Traité des droits d'enregistrement*, t. II, n° 1386.
(4) *Dictionnaire d'Enregistrement*, voir « Indemnité », n° 16.

IV. **Sur la nature de l'indemnité à allouer pour éviction des droits d'eau.** — La solution serait différente si l'indemnité convenue pour privation de la force était prévue en nature, notamment en énergie.

L'article 69 § 2, n° 8, de la loi de frimaire, relatif aux « indemnités mobilières » ne vise en effet que des sommes d'argent.

« L'indemnité, déclarent MM. Championnière et Rigaud (1) ne peut être qu'une somme d'argent... Un préjudice ne peut en effet s'évaluer qu'en argent ou objets de même nature, parce que ces choses seules sont susceptibles de représenter une valeur d'une manière abstraite, tout autre objet ne pourra être donné qu'en paiement de cette valeur mais non comme la valeur elle-même; en l'y substituant, on fera un nouveau contrat translatif de l'objet donné. En conséquence, les choses meubles ou immeubles données ou promises à titre d'indemnité ne seront pas véritablement des indemnités et rendront exigible le droit de vente comme dation en paiement ».

Cette doctrine, d'après laquelle « l'indemnité mobilière » de la loi de frimaire ne peut en principe consister qu'en une somme d'argent, a été reprise par tous les auteurs qui en ont depuis repris la théorie.

Il en résulte que la convention par laquelle un concessionnaire s'engage à fournir à un titulaire de droits d'eau, pour privation de force, motrice une indemnité en nature ne saurait donner lieu à la perception du droit proportionnel d'indemnité à 0,75 pour 100 mais doit être considérée comme une dation en paiement, qui en droit fiscal est traitée comme une vente (2).

Or les ventes de meubles sous seing privé entre commerçants relativement aux opérations de leur négoce doivent être, depuis la loi du 11 juin 1859 (article 29), considérées comme des actes de commerce et par suite enregistrées au seul droit fixe de 22,50 fr.

Le droit proportionnel ne serait ultérieurement perçu que si l'acte venait à être visé dans une procédure judiciaire ou dans un acte public.

V. **Conclusion.** — Nous concluons donc : 1° les accords par lesquels un concessionnaire s'oblige à remettre à un titulaire de droits d'eau évincé en tout ou partie une indemnité en argent compensatrice de la privation de force motrice supporteront un droit proportionnel d'enregistrement de 0,75 pour 100;

2° Ces mêmes accords, s'ils comportent des indemnités en nature, seront seulement passibles du droit fixe de 22,50 fr.

Achille Mestre,
Professeur à la Faculté de Droit de Paris.

(1) *Traité des droits d'enregistrement*, 1835, t. II, n° 1390, p. 374.
(2) « Si le résultat de la dation en paiement est d'éteindre une dette, le moyen par lequel ce résultat est obtenu n'est autre chose qu'une vente, déclare M. Pilon dans ses *Principes des droits d'Enregistrement*, 1929, t. I, n° 3673, p. 196. C'est pourquoi la dation en paiement... est assujettie au droit de vente. »

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 6. — 9 AOUT 1930.

Chronique. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation ; publications de nouvelles normes, p. 193 ; A propos du fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones, p. 194. — Bibliographie : Maupertuis, l'œuvre et sa place dans la pensée scientifique du dix-huitième siècle, par Pierre BRUNET, p. 194.

Section scientifique et technique. — Les méthodes électriques de pesée des atomes, par L. BRUNINGHAUS, p. 195. — A propos de la théorie du magnétisme, par A.-K. KOTELNIKOFF, p. 203. — Revues, analyses et informations : L'influence de la température sur la capacité et la résistance de polarisation de solutions d'acide sulfurique, p. 206.

Section industrielle. — Machine à bobiner les tores sans entrefer, par S. HELD, p. 207. — Un système de protection sélective des lignes aériennes à haute tension, par L. TRIAU, p. 213. — Revues, analyses et informations : Effets de la pénétration de l'eau dans les câbles de transmission d'énergie à enveloppe de plomb, p. 218.

Section économique et financière. — Revues, analyses et informations : La réglementation du titre d'ingénieur, p. 219. — Assemblées générales : Compagnie Electro-Mécanique, p. 222 ; Compagnie d'Electricité de l'Ouest parisien (Ouest-Lumière), p. 224.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique de deux projets de normalisation ; publications de nouvelles normes. — Le Comité de Normalisation de la Mécanique soumet à l'enquête publique les projets de normalisation relatifs respectivement à la *Représentation symbolique des rivets de charpente* (C N M 49) et aux *Organes de transmission* (C N M 118 à 121).

1. *Représentation symbolique des rivets de charpente.* — Le projet de normalisation, proposé par la Commission de Normalisation des Dessins techniques, est inspiré des normes étrangères. Il ne concerne, pour l'instant, que la charpente métallique.

2. *Organes de transmission.* — Les projets C N M 118 à 121 concernent une série d'organes de transmission, à savoir : le clavetage des arbres de transmission ; les manchons d'accouplement ; les paliers à patin ; les chaises consoles et chaises en bout ; les paliers pendants, les paliers consoles à rotules et les niches murales. Ils reposent tous sur une base unique, la normalisation des diamètres d'arbres de transmission qui ont fait l'objet de la norme C N M 117 reproduisant elle-même les données du fascicule E 2-5 de l'ancienne Commission permanente de Standardisation.

Les clavetages sur arbres de transmission ont été déterminés simplement en faisant un choix parmi les clavettes prévues dans les normes C. N. M. 62 et 63.

L'initiative des autres projets revient au Groupe professionnel des Organes de Transmission du Syndicat de la Mécanique. Ces projets ont été établis par ce groupe lui-même, en accord aussi complet que possible avec les normes allemandes correspondantes. (On ne s'était écarté des normes allemandes que lorsque les possibilités de la fabrication française permettaient sans inconvénient des dimensions plus réduites, donc des organes plus légers et économiques).

Soumis au Comité de Normalisation de la Mécanique, ces projets ont subi quelques légers remaniements en vue de les mettre mieux en accord, par l'adoption, pour quelques cotes, de nombres de la série géométrique Renard, avec les normes déjà existantes, ou en projet, des hauteurs d'axe ou des diamètres de poulies de transmission.

Toutes objections à ces projets, dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande pendant la durée de l'enquête, devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), avant le 31 août 1930, date de clôture de l'enquête publique.

Le Comité de Normalisation de la Mécanique nous communique également la liste suivante des nouvelles normes C N M qui ont paru en juin 1930 :

N° 38 (1 feuille) goupilles de position, coniques ;
N° 39 (1 feuille) tolérances sur goupilles coniques et sur goupilles de position coniques ;
N°s 62 à 64 (5 feuilles) clavetages ;
N° 65 (1 feuille) arbres porte-fraises ;
N° 100 (1 feuille) rainures à T ;
N° 141 (1 feuille) hauteurs d'axe ;
N° 151 (1 feuille) engrenages droits ;
N°s 301 à 303 (4 feuilles) tuyauteries d'usine (pressions ; dimensions de raccordement des brides).

A propos du fonctionnement en parallèle d'un nombre quelconque de machines synchrones. — M. Ch. Galmiche, auteur de l'article qui a paru récemment dans la « Revue générale de l'Electricité » des 5 et 12 juillet 1930, t. XXVIII, pages 3 à 13 et 43 à 57, nous adresse une note qui complète et simplifie les conditions imposées aux couples d'amortissement pour que les périodes d'oscillation des machines synchrones soient les mêmes que s'il n'y avait pas d'amortissement. Voici le texte de cette note :

En revoyant le texte de la page 57, conclusion de la note III, je constate que le développement (19) du déterminant (18) conduit, en fait, à une condition moins difficile à remplir que celle qui a été indiquée dans cette note et qui est reproduite dans l'article lui-même à la page 13 (1).

Pour que $r_1 = j\omega_1$ soit, en effet, une solution approchée, il suffit que les deuxième et troisième lignes du développement (19) prennent des valeurs négligeables par rapport au terme constant du produit

$$(r^2 + \alpha_1 r + \omega_1^2)\,(r^2 + \beta_2 r + \omega_2^2)\,(r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2). \quad (P)$$

En comparant la deuxième ligne de (19) au terme constant du produit (P), on obtient d'abord la condition

$$\alpha_2 \beta_3 \gamma_1 r_1^3 \ll \omega_1^2 \omega_2^2 \omega_3^3. \quad (1)$$

En rapprochant, d'autre part, la troisième ligne

$$\beta_1 \alpha_2 r^2\,(r^2 + \gamma_3 r + \omega_3^2),$$

du produit (P), on se rend compte qu'il suffit que le produit $\beta_1 \alpha_2 r^2$ soit négligeable, pour $r = r_1$, devant le terme constant du produit

$$(r^2 + \alpha_1 r + \omega_1^2)\,(r^2 + \beta_2 r + \omega_2^2),$$

c'est-à-dire, que l'on ait

$$\beta_1 \alpha_2 r_1^2 \ll \omega_1^2 \omega_2^2. \quad (2)$$

Les inégalités (1) et (2) sont toutes deux satisfaites si l'on a

$$\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2 \omega^2_{max} \ll 1,$$

ce qui représente finalement la condition à remplir, et quel que soit d'ailleurs le nombre des machines.

Cette condition est suffisante ; ce n'est pas une condition nécessaire. En effet, on peut remarquer que, dans le cas particulier où tous les rapports $\frac{C_a}{C_s}$ sont égaux, les raisonnements qui ont été développés à la suite de l'expression (15) conduisent simplement à l'inégalité

$$\left(\frac{C_a}{C_s}\right)^2 \omega^2_{max} \ll 1$$

et non pas à la condition

$$n^2 \left(\frac{C_a}{C_s}\right)^2 \omega^2_{max} \ll 1$$

où n désigne le nombre des machines synchrones.

Ch. GALMICHE.

(1) Erratum : Dans l'expression de la page 13, deuxième colonne, troisième ligne, l'indice « max » de $\left[\sum \frac{C_a}{C_s}\right]^2$ doit être supprimé.

Bibliographie : Maupertuis; l'œuvre et sa place dans la pensée scientifique du dix-huitième siècle, par Pierre BRUNET, professeur de l'Université, docteur ès lettres (1). — Ce deuxième ouvrage de M. Brunet est consacré à l'exposé détaillé de l'œuvre si variée de Maupertuis dans le cadre des connaissances de ses contemporains, ce qui se traduit, en définitive, par une vue d'ensemble complète sur la pensée scientifique du XVIII^e siècle; il est divisé en deux parties : le savant et le philosophe.

Dans le chapitre premier, études sur les courbes, on trouvera quelques renseignements intéressants sur les origines de la cycloïde et de l'épicycloïde, celle-ci étant attribuée au danois Rœmer qui l'imagina en 1674, celle-là au Père Mersenne qui la fit connaître en 1628. Le problème qui préoccupa le plus la plupart des savants de l'époque fut la quadrature de ces courbes, c'est-à-dire la détermination du rapport de l'aire de la courbe à celle du cercle générateur, puis leur rectification. Maupertuis résolut ces questions par des méthodes générales en 1730; puis s'occupa des développées, déjà étudiées par Huyghens, des points d'inflexion et des points de rebroussement. Nous nous bornerons à énoncer les titres des autres chapitres : Travaux astronomiques sur le système du monde; la figure de la Terre; La parallaxe de la lune et le problème des longitudes et latitudes; La mécanique et le principe de la moindre action; La physique; La biologie; L'épistémologie; La matière et la pensée; La théologie naturelle et le problème moral.

A la fin de l'ouvrage, l'auteur a réuni une bibliographie nombreuse des mémoires et livres de l'époque considérée; elle comprend : 1° le titre et la date de publication des mémoires de Maupertuis (au nombre de 67), les références étant établies d'après l'édition in-12 d'Amsterdam des Mémoires de l'Académie des Sciences ; 2° les noms des auteurs cités dans l'ouvrage et les titres de leurs œuvres, chapitre par chapitre.

En présence d'une œuvre aussi diverse que celle de Maupertuis, il apparaît d'autant plus difficile à M. Brunet d'en donner, en quelque sorte, un aperçu d'ensemble que l'importance des résultats en est fort inégale dans les différents domaines. Il a surtout eu le mérite de s'être trouvé un des premiers à reconnaître la valeur des découvertes de Newton et l'auteur s'exprime ainsi à ce sujet : « A une époque où, surtout en France, le « newtonianisme » rencontrait tant de résistance, il ne pouvait être indifférent qu'un savant tel que Maupertuis vînt mettre au service de la grande idée de l'attraction universelle et des autres principes newtoniens la subtilité de ses calculs et de ses raisonnements, la précision de ses observations et de ses mesures et l'inlassable activité avec laquelle, poursuivant toutes ses recherches, il savait encore grouper autour de lui des collaborateurs ou susciter de nouvelles initiatives. Et, si l'on doit renoncer à trouver quelque autre caractéristique générale de l'œuvre de Maupertuis, les idées newtoniennes inspirent un nombre suffisant de ses travaux pour qu'on puisse en considérer l'ensemble sous ce biais ». — B. C.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 487 pages, édité par la librairie Albert Blanchard, 3 et 3 bis, place de la Sorbonne, à Paris (6^e). Prix : broché, 75 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Les méthodes électriques de pesée des atomes

La pesée des atomes fut longtemps sous la dépendance de manipulations chimiques longues, délicates et fastidieuses. Grâce à l'ingénieuse méthode électrique de J.-J. Thomson et aux perfectionnements apportés à cette méthode par Aston, on peut maintenant peser directement les atomes et bientôt les mesures de masses atomiques ne se feront plus autrement. Dans l'article qui suit sont exposés le principe de la méthode et quelques-uns des résultats les plus importants obtenus. L'auteur montre que tous les espoirs sont permis pour l'avenir de ce procédé de pesée où les atomes sont individuellement portés par deux champs électrique et magnétique superposés, nouveau fléau de balance inattendu, délicat et précis.

I. **La molécule et l'atome.** — On sait que depuis fort longtemps le besoin de comprendre les propriétés des corps a conduit à la notion de molécules, identiques entre elles lorsqu'elles forment un même corps pur, différentes au contraire dans le cas d'une solution. Cette vue, considérée tout d'abord comme une hypothèse commode mais invérifiable, a pris par la suite droit de cité dans la science et l'on a pu parler, à la suite de travaux multiples et concordants, de « réalité moléculaire » (Jean Perrin). Aujourd'hui, par des moyens délicats et variés, on mesure et on pèse les molécules, on va même jusqu'à donner des précisions quant à leur forme et leur structure, d'où découlent souvent les propriétés du corps pur dont elles sont les éléments indivisibles (1), les ultimes particules.

La réalité moléculaire entraîne à son tour celle de l'atome. Si nous admettons que des corps comme l'oxygène, l'ozone, l'eau, le gaz sulfureux, etc., sont formés de molécules respectivement identiques, comme l'expérience prouve que de chacun de ces corps on peut tirer une même substance, appelée de l'oxygène, il est clair que cet élément doit être représenté par des « grains » déterminés dans chacune de ces molécules : on a admis que ces grains d'oxygène étaient identiques entre eux et l'expérience a justifié longtemps cette hypothèse. Les grains insécables (2) d'un corps simple donné en sont les atomes.

On peut dire que les molécules représentent la limite de divisibilité d'un corps pur ; que l'atome est la plus petite particule d'un corps simple capable de passer d'une molécule à une autre.

II. **L'extrême petitesse des particules.** — Ces grains sont d'une ténuité dont il est difficile de se faire une idée. Diverses méthodes, basées sur des principes essentiellement différents et variés, ont fourni sur le nombre de molécules contenues dans un volume donné de gaz des résultats dont la concordance remarquable suffit à entraîner les convictions. On a trouvé que le nombre de molécules contenues dans 1 cm^3 d'un gaz, pris dans les conditions normales de température et de pression, était de l'ordre de 28 milliards de milliards. De même, la masse d'une molécule d'hydrogène est d'environ 3×10^{-24} g et on lui attribue un diamètre moyen d'environ $2{,}4 \times 10^{-8}$ cm.

Il convient de dire dès maintenant que, malgré ces dimensions extraordinairement petites, diverses expériences ont permis de mettre en évidence des actions individuelles de ces particules : on peut voir leurs impacts isolés sur un écran fluorescent ; on peut dans certains cas photographier leurs trajectoires.

III. **Masses moléculaires, masses atomiques.** — Il est naturellement impraticable de raisonner, en chimie notamment, sur des masses de matière aussi infimes. C'est pourquoi les chimistes ont convenu de représenter chaque molécule ou chaque atome par une masse $\mathcal{N}$ fois plus grande que sa masse réelle, $\mathcal{N}$ étant choisi le même pour tous et assez grand pour que la masse de matière ainsi obtenue soit égale à 16 g, dans le cas de l'oxygène. Si donc on appelle ω la masse de l'atome d'oxygène, on a

$$\mathcal{N}\omega = 16,$$

ce qui fixe la valeur de $\mathcal{N}$. Les masses ainsi obtenues forment le système des masses moléculaires et atomiques usuelles. Le coefficient $\mathcal{N}$, ou nombre de molécules par molécule-gramme, est appelé nombre d'Avogadro. Il est

$$\mathcal{N} = 6{,}06 \times 10^{23}.$$

Réciproquement, si $\mathfrak{M}$ est la masse moléculaire d'un corps pur, ou $\mathcal{A}$ la masse atomique d'un élément, la masse des molécules ou atomes correspondants sera

$$\mu = \frac{\mathfrak{M}}{\mathcal{N}} \quad \text{ou} \quad \mu = \frac{\mathcal{A}}{\mathcal{N}},$$

(1) On peut bien diviser les molécules, mais alors le corps pur qu'elles formaient cesse d'exister.

(2) Comme les molécules, les atomes pouvent être parfois divisés (corps radioactifs), mais alors le corps simple correspondant cesse d'exister.

de sorte que la connaissance des masses moléculaires et atomiques et du nombre d'Avogadro répond à tous les besoins.

IV. Nécessité de mesures directes. — Je n'insisterai pas ici sur les procédés bien connus par lesquels on détermine, en chimie, les masses moléculaires et les masses atomiques. Mon but est de montrer que les tendances actuelles sont à l'opposé de celles qui s'affirmaient avec force il y a quelque dix ou vingt ans. On aurait alors fait sourire si l'on avait prétendu mesurer une masse atomique en pesant directement l'atome, puis multipliant par le nombre d'Avogadro.

C'est cependant exactement ce que l'on commence à faire aujourd'hui et ce que probablement l'on fera de plus en plus dans l'avenir : on peut escompter, dans un délai assez proche, la suppression de la si compliquée et fastidieuse cuisine chimique qui préside aux déterminations des masses atomiques et son remplacement par l'impression d'une plaque photographique au moyen des atomes mêmes qu'il s'agit de peser, en des points dont la position est en relation simple avec leur masse.

Ce résultat est d'autant plus intéressant que ce n'est en réalité pas lui que les physico-chimistes avaient en vue lorsqu'ils ont établi les nouvelles méthodes de mesure décrites ci-dessous.

La nécessité de peser directement les atomes s'est présentée à la suite de la découverte de certains faits touchant les corps radioactifs. Au cours de l'évolution de ces corps, de nouveaux atomes apparaissent et parmi ceux-ci, il s'en trouve qui présentent exactement la même structure électronique, sans cependant avoir la même masse. Ces atomes, par suite de leur identité de structure, auront exactement les mêmes propriétés physiques et chimiques : une fois mélangés ils ne seront plus séparables et devront donc occuper la mème case de la classification périodique des éléments : d'où le nom d'isotopes donné aux corps formés de tels atomes.

La question qui se posait était dès lors la suivante : les éléments usuels ne seraient-ils pas eux-mêmes des mélanges d'isotopes? Question importante à bien des égards, qui, dans l'affirmative, conduirait à renoncer à l'hypothèse initiale de Dalton, en vertu de laquelle les atomes d'un même corps simple seraient tous identiques les uns aux autres et qui expliquerait aussi, peut-être, pourquoi les masses atomiques ne sont en général pas exactement des nombres entiers (hypothèse de Prout).

Il est clair qu'une semblable question ne pouvait être résolue que par l'emploi d'une méthode directe de pesée des atomes, ou des molécules formées par ceux-ci.

Cette méthode a été créée par J.-J. Thomson (1), puis perfectionnée et généralisée par Aston (1). Comme le principe en est exclusivement électrique, je pense que l'exposé n'en n'est pas déplacé ici.

V. Déviation d'un ion dans un champ électrique. — Je rappellerai d'abord des faits bien connus, mais qu'il est nécessaire d'avoir présents à l'esprit pour l'intelligence de ce qui va suivre. La pesée des atomes, ou des molécules, consiste à les ioniser et à faire agir sur les ions produits un champ électrique et un champ magnétique de même direction. Afin d'être clair, je donnerai d'abord le résultat de l'action de ces champs, considérés séparément.

Union, par exemple positif, de masse μ et de charge ε, franchit à l'instant zéro l'origine O (fig. 1) et il est animé d'une vitesse v, dont nous prendrons la direc

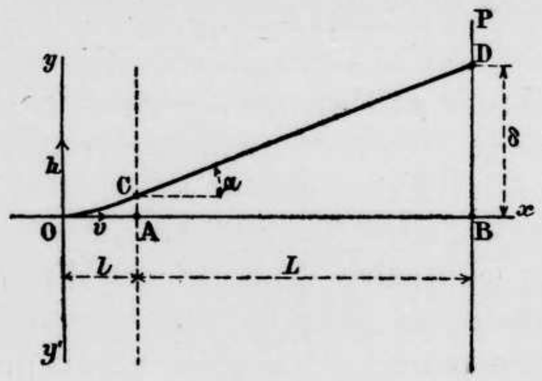


Fig. 1. — Trajectoire d'un ion dans un champ électrique.

trice comme axe des x. A partir de O, il traverse un champ électrostatique uniforme, dont le vecteur h a pour directrice l'axe des y; ce champ règne dans une couche plan-parallèle d'épaisseur $l = \overline{OA}$. Pendant la traversée de la couche, l'ion est sollicité par une force constante, qui, en notation vectorielle, s'écrit immédiatement

$$f = \varepsilon\, h \qquad (1)$$

La particule suit dès lors la trajectoire parabolique OC, dont il est aisé d'établir l'équation. On a d'abord

$$\begin{cases} \mu \dfrac{d^2x}{dt^2} = X = 0 \\ \mu \dfrac{d^2y}{dt^2} = Y = \varepsilon h \end{cases} \quad \begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = v \\ \dfrac{dy}{dt} = \dfrac{\varepsilon}{\mu} h\, t \end{cases} \quad \begin{cases} x = v\, t \\ y = \dfrac{1}{2}\dfrac{\varepsilon}{\mu} h\, t^2 \end{cases} \qquad (2)\ (3)$$

et, en éliminant le temps t entre les deux dernières équations

$$y = \frac{1}{2}\,\frac{\varepsilon}{\mu\, v^2}\, h\, x^2$$

(1) J.-J. Thomson. *Rays of positive Electricity*, p. 7 et suivantes.

(1) F.-W. Aston. *The philosophical Magazine*, décembre 1919, t. XXXVIII, p. 707-714, résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 27 mars 1920, t. VII, p. 99 D. — *Id.* mai 1920, t. XXXIX, p. 611-625, résumé dans la *Revue générale de l'Électricité*, 9 octobre 1920, t. VIII, p. 111 D. — *Id.* mai 1923, t. XLV, p. 934-945. — *Id.* février 1924, t. XLVII, p. 385-400. — *Id.* juin 1925, t. XLIX. p. 1191-1201.

ou, en posant

$$\frac{1}{2}\frac{\mu v^2}{\varepsilon} = A \qquad (4)$$

$$y = \frac{1}{4}\frac{h x^2}{A} \qquad (5)$$

qui est l'équation de la trajectoire ; au point C, où la particule sort du champ, sa trajectoire devient rectiligne et l'on a

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{2}\frac{hl}{A} \qquad (6)$$

et

$$AC = \frac{1}{4}\frac{hl^2}{A}, \qquad (7)$$

et la déviation BD $=\delta$ a pour valeur

$$\delta = AC + L\operatorname{tg}\alpha,$$

c'est-à-dire

$$\delta = \frac{1}{4}\frac{h}{A}\, l[l + 2L], \qquad (8)$$

équation qui peut être résolue par rapport à A.

VI. **Déviation d'un ion dans un champ magnétique.** — 1° Voyons d'abord comment s'applique la loi de Laplace dans le cas d'une particule électrisée en mouvement (fig. 2).

La loi de Laplace s'exprime en général par

$$df = Hi\,dl\sin\alpha.$$

Appelons dl la longueur de la particule (1) dans la

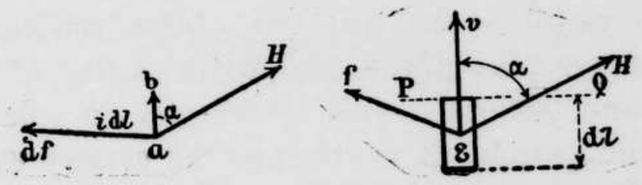


Fig. 2. — Représentation de la loi de Laplace appliquée à une particule électrisée en mouvement.

direction du mouvement, v sa vitesse, ε sa charge. Elle franchira un plan quelconque PQ perpendiculaire à sa trajectoire en un temps dt donné par

$$dt = \frac{dl}{v}.$$

Elle équivaut donc à un élément de courant d'intensité

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon v}{dl}$$

et de longueur dl. On a donc

$$i\,dl = \varepsilon v$$

(1) Pour fixer les idées, la figure 2 représente la particule comme un petit cylindre ; en réalité le raisonnement subsiste quelle que soit sa forme.

et

$$f = H\varepsilon v\sin\alpha. \qquad (9)$$

2° Soit un ion lancé en O (fig. 3) avec une vitesse v dans un champ uniforme H, orienté comme l'indique

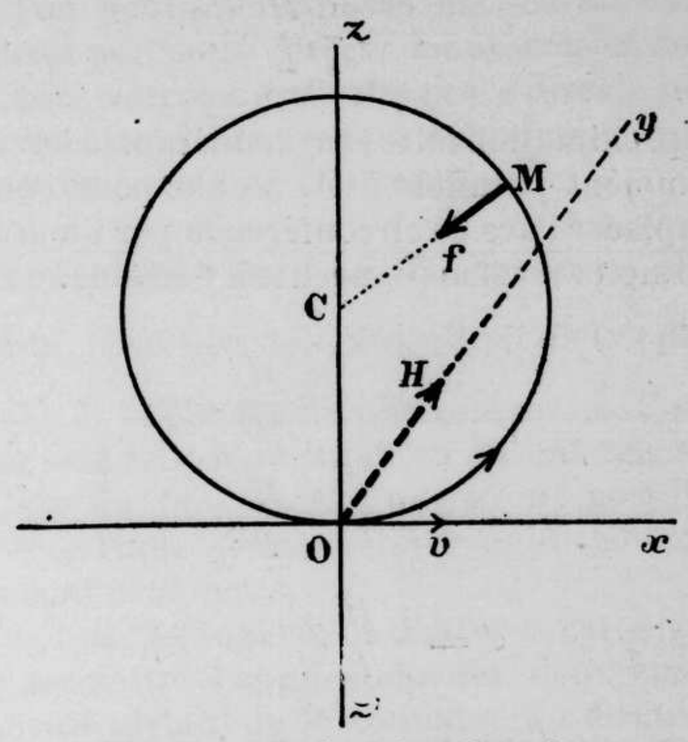


Fig. 3. — Trajectoire d'un ion dans un champ magnétique uniforme indéfini.

la figure. La force f est normale à la trajectoire et au vecteur H. L'accélération est donc également normale et l'on a, en désignant par ρ le rayon de courbure de la trajectoire

$$H\varepsilon v = \mu\frac{v^2}{\rho}, \qquad (10)$$

$$\rho = \frac{1}{H}\frac{\mu v}{\varepsilon} = \frac{1}{H}B, \qquad (11)$$

si l'on pose

$$B = \frac{\mu v}{\varepsilon}. \qquad (12)$$

ρ est constant, et la trajectoire est une circonférence qui sera parcourue indéfiniment par la particule.

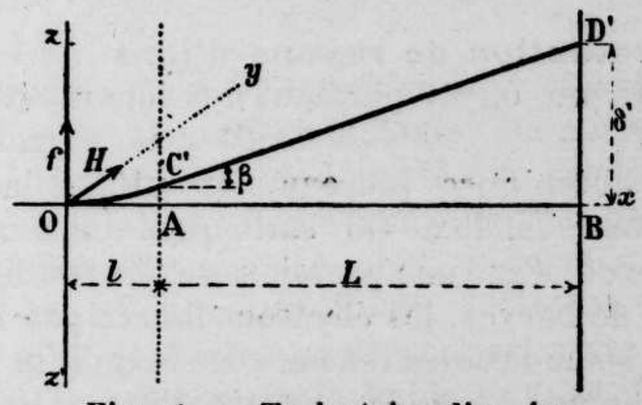


Fig. 4. — Trajectoire d'un ion dans un champ magnétique uniforme limité.

3° Le champ magnétique uniforme n'existe que dans une bande de largeur l, que nous supposerons petite (fig. 4). Suivant OC′ on a une force constante, ayant à peu près constamment la direction Oz. On a donc

$$\mu\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \qquad \mu\frac{d^2z}{dt^2} = H\varepsilon v, \qquad (13)$$

d'où

$$x = vt, \quad z = \frac{1}{2}\frac{H\varepsilon}{\mu}\frac{x^2}{v},$$

ou

$$z = \frac{1}{2}\frac{H}{B}x^2. \qquad (14)$$

L'approximation faite en considérant la force f comme constamment parallèle à Oz a donc pour conséquence de remplacer l'arc de circonférence par un arc de parabole admettant même tangente à l'origine.

On a

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{Hl}{B}, \qquad (15)$$

$$AC' = \frac{1}{2}\frac{H}{B}l^2, \qquad (16)$$

$$\delta' = \frac{1}{2}\frac{H}{B}l[l + 2L], \qquad (17)$$

équation qui donnera

$$B = \frac{\mu v}{\varepsilon}, \text{ si l'on mesure } \delta'.$$

Des équations

$$\frac{1}{2}\frac{\mu v^2}{\varepsilon} = A \quad \text{et} \quad \frac{\mu v}{\varepsilon} = B \qquad (18)$$

on pourra tirer v et $\frac{\varepsilon}{\mu}$.

Il résulte de très nombreuses déterminations, en particulier de celles de Millikan, que la charge ε d'un ion vaut

$$\varepsilon = e, \ 2e \text{ ou } 3e,$$

e étant la valeur absolue de la charge de l'électron : ε est donc connu ; d'où la valeur de μ.

VII. **Obtention de rayons d'ions.** — Il s'agit de soumettre un étroit pinceau des ions à étudier aux champs.

Pour obtenir ce pinceau, on utilise la méthode des rayons canaux. On sait que, dans un tube à décharge où règne une pression de l'ordre de quelques dizaines de baryes, les électrons lancés par la cathode ionisent les molécules rencontrées et qu'il se forme un double courant d'ions, les positifs allant, naturellement, à la cathode : ils constituent l'afflux cathodique. Ces ions sont animés de grandes vitesses et, si l'on utilise une cathode perforée (fig. 5), ils franchiront les trous et formeront, en arrière de la cathode, des rayons facilement observables qui, en raison de leur mode d'obtention, ont été appelés « rayons canaux ». La pression la plus avantageuse est d'environ 10 baryes.

J.-J. Thomson, puis Aston, ont construit des tubes qui se prêtent mieux que le précédent aux déterminations de masses. Le tube est divisé en deux compartiments indépendants par une cathode épaisse, dans laquelle se trouve ménagé un très fin canal de 10 à 100 μm de diamètre (fig. 6). On prend pour cela deux plaques d'acier bien planes ; on trace un trait rectiligne sur

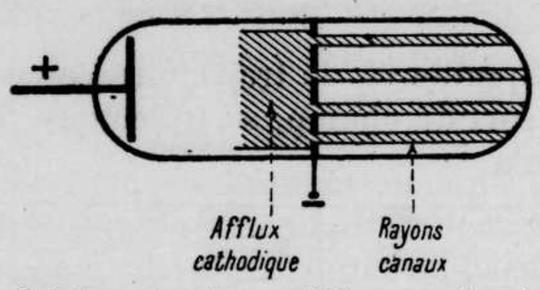


Fig. 5. — Schéma du dispositif permettant d'obtenir des rayons canaux.

l'une d'elles et on les applique fortement l'une contre l'autre. Les ions positifs qui traversent cet étroit canal forment, à la sortie, un très mince pinceau.

Dans l'espace A, l'on établit et l'on maintient la pression la plus favorable à la production des rayons. Dans B, on s'arrange à faire régner une pression extrêmement faible, afin que les chocs moléculaires ne viennent pas troubler la propagation des rayons. Dans ce but, une pompe à vide élevé est en relation constante avec l'espace B. C'est dans cet espace que peuvent être étudiés les rayons positifs obtenus avec divers gaz.

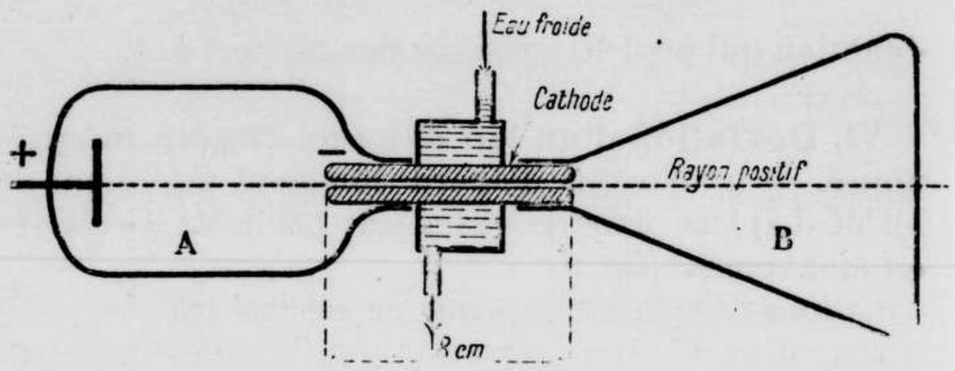


Fig. 6. — Schéma du tube permettant d'obtenir un pinceau de rayons positifs.

Les rayons obtenus provoquent la fluorescence de divers corps ; ils ont un pouvoir ionisant considérable. Ils sont formés d'atomes ou de molécules électrisés positivement. La vitesse de ces ions peut être comprise entre quelques centaines et quelques milliers de kilomètres par seconde.

La méthode précédente ne se prête guère qu'à l'étude des corps gazeux ou assez volatils. Pour le cas contraire, Morand a imaginé un procédé très élégant et qui semble d'une grande généralité d'emploi. On opère dans un vide très élevé (pression de l'ordre de 0,1 barye). L'anode est un filament de platine incandescent en forme de V, dont la pointe est tournée vers la cathode. Cette pointe est garnie d'une mince couche du corps solide à étudier, qui est en général un sel. On porte l'anode, en y faisant passer un courant électrique d'intensité convenable, à une température légèrement inférieure au point de fusion du sel. En général, les ions positifs ainsi produits sont ceux du métal entrant dans la constitution du sel. Le pinceau de rayons posi-

tifs tombe sur une cathode percée d'une fente étroite, d'où sort donc une nappe plane de rayons canaux, transportant un courant d'une intensité considérablement plus grande qu'avec les précédents montages, soit 2 à 3 milli-ampères. Cette nappe plane sera soumise aux deux champs électrique et magnétique du « spectrographe de masses » dont le principe sera donné plus loin. Avant de faire pénétrer les ions dans ces deux champs, Aston prend la précaution de les accélérer tout d'abord en les soumettant à un champ deux ou trois fois plus intense que le premier. A cet effet, il dispose parallèlement à la première cathode une deuxième cathode à fente, portée à un potentiel plus bas que la première. C'est la nappe sortant de la deuxième fente qui sera soumise aux champs déviateurs.

VIII. **Mesure des masses atomiques ou moléculaires.** — Rappelons d'abord que la charge de l'électron peut s'écrire

$$-e = -\frac{96\,490}{\mathcal{N}} \text{ coulomb},$$

où $\mathcal{N}$ est le nombre d'Avogadro, et 96 490 coulombs la charge portée, comme on sait, par un ion-gramme monovalent. Appelons ε et μ la charge et la masse des ions formant le pinceau soumis aux champs électrique et magnétique. Nous avons vu plus haut que la mesure des déviations produites par ces champs permet d'atteindre la valeur du rapport $\frac{\varepsilon}{\mu}$.

Mais, d'autre part, ε est en général égal à e, plus rarement à $2e$, plus rarement encore à $3e$, soit

$$\varepsilon = k\,\frac{96\,490}{\mathcal{N}}, \quad \text{où} \quad k = 1, 2 \text{ ou } 3.$$

De plus

$$\mu = \frac{\mathfrak{M}}{\mathcal{N}} \quad \text{ou} \quad \frac{\mathfrak{A}}{\mathcal{N}},$$

par définition des masses atomiques ou moléculaires. On a donc

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = k\,\frac{96\,490}{\mathfrak{M}} \quad \text{ou} \quad \frac{\varepsilon}{\mu} = k\,\frac{96\,490}{\mathfrak{A}};$$

d'où

$$\mathfrak{M} = k\,\frac{96\,490}{\frac{\varepsilon}{\mu}} \quad \text{ou} \quad \mathfrak{A} = k\,\frac{96\,490}{\frac{\varepsilon}{\mu}}$$

et, le plus souvent,

$$\mathfrak{M} = \frac{96\,490}{\frac{\varepsilon}{\mu}} \quad \text{ou} \quad \mathfrak{A} = \frac{96\,490}{\frac{\varepsilon}{\mu}}.$$

On reconnaîtra aisément les déviations pour les-quelles $k = 2$ ou 3, comme donnant les mêmes masses moléculaires ou atomiques, avec l'hypothèse d'ions doublement ou triplement chargés : et ceci constitue un moyen de contrôle, dont la forme se précisera plus loin par quelques exemples.

Ainsi, l'on peut atteindre les masses atomiques ou moléculaires par pesée directe des atomes et des molécules, et nous verrons que cette pesée directe peut être effectuée avec précision avec un minimum d'opérations simples, et en un temps très court.

IX. **Expériences de J.-J. Thomson.** — Dans ce qui précède, la mesure de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ nécessitait deux opérations successives. J.-J. Thomson a imaginé une méthode donnant d'un seul coup le résultat, en faisant agir simultanément sur un fin pinceau de rayons positifs deux champs électrique et magnétique uniformes dont les vecteurs sont confondus.

Dans ce but, le tube de la figure 6 est disposé de façon à permettre l'application des deux champs au rayon positif sortant de la cathode : un électroaimant est disposé (fig. 7) de sorte que son axe soit normal au rayon. Ses pièces polaires C et D se prolongent par

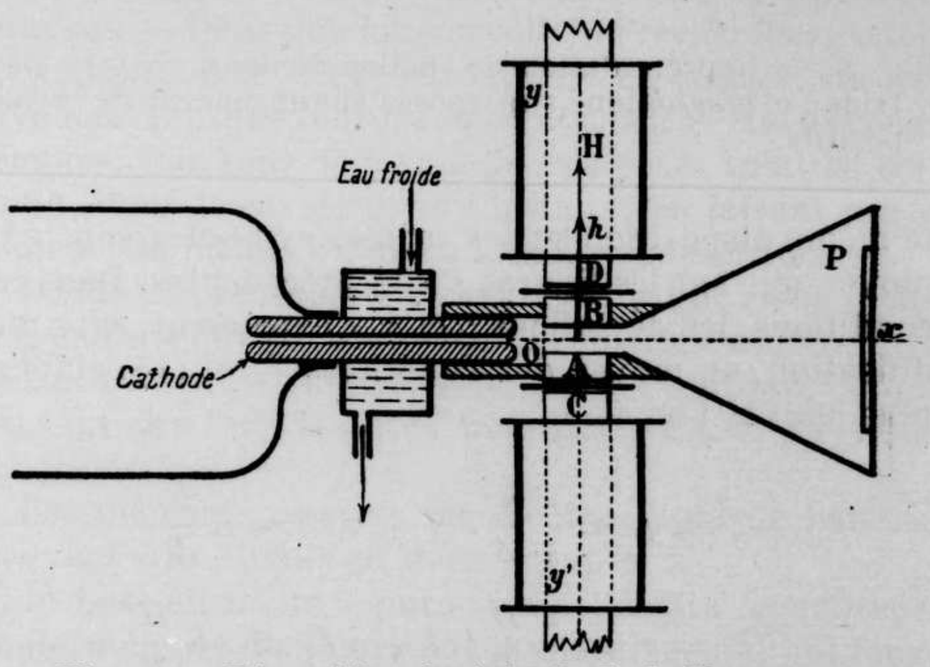


Fig. 7. — Disposition du tube de J.-J. Thomson.

deux pièces de fer A et B qui en sont séparées par de minces lames de matière isolante. On porte A et B à des potentiels différents, de sorte que l'espace qui les sépare est le siège d'un champ magnétique et d'un champ électrique sensiblement uniformes, dont les vecteurs sont confondus. En P, se trouve la plaque photographique. Le temps de pose est assez long (2 ou 3 heures), en raison de la faible densité du pinceau d'ions positifs sortant du très mince canal cathodique.

Dans la figure 8, on a pris pour axe des x la direction du pinceau et pour axe des y la direction commune des vecteurs agissants. L'axe des z est orienté de façon à former avec Ox et Oy un système d'axes à droite. A cette disposition correspond une déviation $\delta = \overline{BD}$ dans le plan xOy lorsque le champ électrique agit seul et une déviation $\delta' = \overline{BD'}$ lorsque le champ

magnétique agit seul. En présence des deux champs superposés, la trace du pinceau vient en E, de coordonnées δ, δ' dans le plan $y_1 B z_1$ parallèle à yOz. Le plan $y_1 B z_1$ est, en fait, représenté par la face sensible d'une plaque photographique, que le pinceau impressionnera en E.

Les champs h et H n'existent qu'à l'intérieur d'une couche d'épaisseur $l = OA$ limitée par les plans parallèles yOz et $y'Az'$. On remarquera que, sur cette figure,

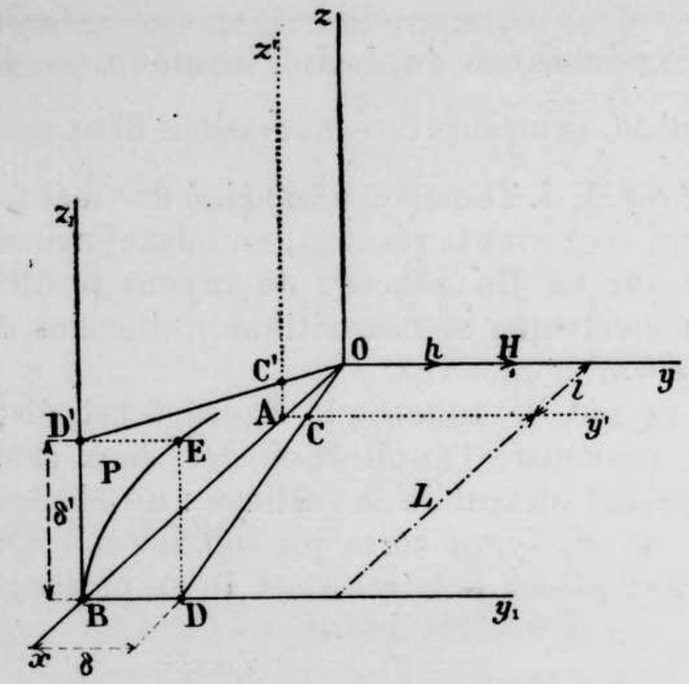


Fig. 8. — Représentation de l'action de deux champs électrique et magnétique superposés sur un pinceau de rayons positifs.

la même disposition et les mêmes symboles sont employés que sur les figures 1 et 4 précédentes. Dans ces conditions, les déviations δ et δ' s'expriment, sans modification, au moyen des équations (8) et (17) établies plus haut et l'on a

$$\delta = y_1 = \frac{1}{4}\frac{h}{A} l (l + 2L) = K \frac{h}{A},$$

$$\delta' = z_1 = \frac{1}{2}\frac{H}{B} l (l + 2L) = 2K \frac{H}{B},$$

ou, en remplaçant A et B par leurs valeurs (4) et (12)

$$y_1 = 2Kh \frac{\varepsilon}{\mu v^2}, \qquad z_1 = 2KH \frac{\varepsilon}{\mu v}. \tag{19}$$

Pour éliminer la vitesse, élevons z_1 au carré et divisons membre à membre. On obtient

$$z_1^2 = C \frac{\varepsilon}{\mu} y_1, \tag{20}$$

C étant une nouvelle constante qui s'exprime aisément en fonction de l, L, h et H.

L'équation précédente est celle d'une parabole P, de paramètre

$$p = \frac{C}{2}\frac{\varepsilon}{\mu}.$$

Tous les ions du pinceau ayant le même $\frac{\varepsilon}{\mu}$ et la même vitesse v rencontreront la plaque en E ; si la vitesse est variable (1), le lieu de E est la parabole P, tangente à l'origine B à l'axe Bz_1. Il ne restera qu'à mesurer le paramètre de la parabole ainsi enregistrée sur la plaque photographique pour en déduire la valeur de $\frac{\varepsilon}{\mu}$ pour les ions étudiés. La méthode est simple, précise et d'une extrême sensibilité : une trace de matière indécelable au spectroscope peut donner sur la plaque une parabole parfaitement nette et aisément mesurable. Enfin, il est à noter tout spécialement que les impuretés ne gênent pas : chaque corps donne la parabole qui lui est propre, quels que soient les autres corps présents dans le tube.

Nous avons supposé jusqu'à présent que le pinceau était formé d'ions positifs ; c'est ce qui arrive le plus souvent. Cependant, parfois quelques ions négatifs entrent dans la composition du pinceau (2) ; pour ces ions, les calculs précédents restent naturellement valables, au signe près : les deux déviations δ, δ' sont négatives, et l'on obtient donc un arc de parabole dont les coordonnées sont négatives (parabole négative).

X. **Résultats de l'application de la méthode de J.-J. Thomson.** — J.-J. Thomson a déterminé par cette méthode de nombreuses masses atomiques ou moléculaires et les résultats obtenus, tout en vérifiant les données d'ordre chimique, ont mis en outre en évidence quelques faits fort intéressants.

Avec l'hydrogène, on obtient deux paraboles positives, formées par les ions H^+, $(H^2)^+$ et $(H^3)^+$ et une parabole négative, due aux ions $(H^1)^-$.

L'oxygène donne les ions suivants :

$$O^+,\ (O^2)^+,\ (O^3)^+,\ (O^6)^+,\ O^{++},\ O^-.$$

Avec l'azote, on observe

$$N^+,\ (N^2)^+,\ (N^3)^+,\ N^{++},\ (N^3H)^+$$

et, à titre d'impuretés, $(H^3)^+$.

L'oxyde de carbone donne les ions

$$C^{+++},\ C^+,\ O^{++},\ O^+,\ (CO)^+,\ (CO^2)^+,\ C^-,\ O^-.$$

On observe dans tous les cas des ions Hg^+, dont la présence est due à la vapeur de mercure des pompes à vide.

Ces quelques exemples suffisent à montrer le très grand intérêt de la méthode. Au lieu que l'analyse chimique ne fournit qu'un effet global, dans lequel le détail des phénomènes s'efface complètement, la méthode d'analyse par rayons positifs permet de saisir

(1) Ce qui est le cas pour un pinceau de rayons positifs obtenus par la méthode de J.-J. Thomson.

(2) Ils correspondent à des atomes peu électropositifs ou électronégatifs, comme H, C, O, S, Cl, dont les ions, d'abord positifs, se chargent négativement au sortir de la cathode.

individuellement les centres formant le gaz, et de les peser séparément. En particulier, elle met en évidence des molécules, telles que H^3, O^6 ou N^3H qui étaient restées complètement inconnues des chimistes, si ce n'est à titre purement hypothétique.

XI. **Travaux d'Aston.** — Le principe de la méthode se prêtait remarquablement bien au but que se proposait Aston, qui était de savoir si, comme certains corps résultant des désintégrations radioactives, les éléments usuels ne seraient pas, eux aussi, des mélanges d'isotopes. Mais il était à présumer que les masses des isotopes formant un même corps simple devaient être voisines et les paraboles obtenues avec le dispositif de J.-J. Thomson n'étaient pas assez fines pour espérer discerner des composantes très voisines. Il fallait donc créer un appareil plus « dispersif ».

L'appareil d'Aston (fig. 9) diffère de celui de J.-J. Thomson principalement en ce que les deux déviations, électrique et magnétique, du pinceau de rayons positifs,

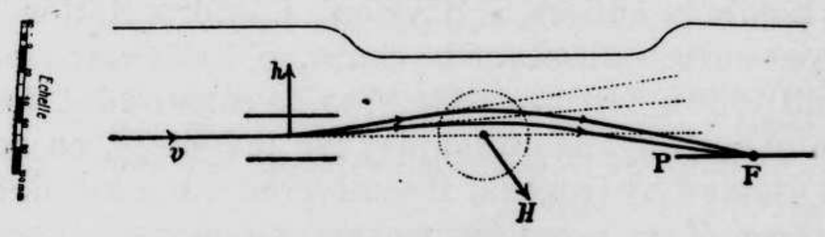


Fig. 9. — Schéma du spectrographe de masses d'Aston.

sont produites en des régions distinctes de leur parcours et qu'elles ont lieu dans un même plan, autrement dit que les vecteurs électrique et magnétique sont ici croisés à angle droit.

Le pinceau passe d'abord dans le champ électrique vertical h qui le disperse en plusieurs pinceaux, dont la déviation est d'autant plus petite que la vitesse est plus grande, conformément à l'équation (8)

$$\delta = \frac{1}{2}\,\frac{h\varepsilon}{\mu v^2}\,l\,(l + 2L).$$

Les pinceaux dispersés traversent, quelques centimètres plus loin, l'entrefer d'un électroaimant qui crée un champ magnétique H horizontal, perpendiculaire aux vecteurs h et v et orienté par exemple en avant du plan de la figure.

Les rayons sont repris par ce champ, qui les dévie vers le bas de la figure de

$$\delta' = \frac{1}{2}\,\frac{H\varepsilon}{\mu v}\,l'\,(l' + 2L').$$

Les rayons les plus déviés par le champ électrique sont aussi les plus déviés en sens inverse par le champ magnétique et un calcul plus complet montre que les rayons de même $\frac{\varepsilon}{\mu}$ et de vitesses différentes viennent converger en un même point qui va se trouver un lieu de concentration d'énergie, un vrai foyer, au sens optique de ce mot, le champ magnétique jouant vis-à-vis des rayons positifs un rôle analogue à celui d'une lentille convergente en optique. A chaque masse correspond donc un foyer de position déterminée pour des champs donnés; un rayon formé de particules de même charge, mais de masses différentes, convergera en une série de foyers, d'autant plus éloignés que les masses sont plus grandes.

Dans la pratique, le tube à rayons positifs est muni, ainsi qu'il a été expliqué plus haut, de deux cathodes percées de fentes parallèles très fines, d'où sort une nappe plane de rayons. Cette nappe est supposée normale au plan de la figure 8, de sorte que chaque foyer tel que F sera représenté, en réalité, par une petite droite perpendiculaire au plan de la figure. Et l'on obtient sur une plaque photographique P convenablement disposée une succession de lignes, à chacune desquelles correspond une valeur déterminée de $\frac{\varepsilon}{\mu}$, et qui constitue le « spectre de masses » de la matière contenue dans le tube (1).

La finesse des lignes, la concentration d'énergie qui leur correspond font que le pouvoir séparateur de l'appareil est considérable et le temps de pose très réduit.

XII. **Résultats obtenus avec le spectrographe de masses.** — Dans une longue suite de recherches, Aston a examiné, avec son spectrographe de masses, successivement presque tous les éléments, soit à l'état de corps simples, soit sous la forme de composés volatils, soit enfin, dans le cas de divers métaux, en faisant usage d'un sel du métal et d'une anode incandescente.

De toutes ces recherches est résultée une riche moisson de faits qui ont grandement contribué à nous faire mieux connaître la constitution de la matière, ce qui est l'un des buts les plus immédiats de la physique moderne.

Les éléments, étudiés au spectrographe de masses, peuvent être divisés en deux groupes :

1° Les éléments « purs », c'est-à-dire constitués, conformément d'ailleurs aux hypothèses qui ont longtemps régné, exclusivement par des atomes tous identiques les uns aux autres;

2° Les éléments « mixtes » qui, contrairement à ce que l'on avait cru pendant près d'un siècle, sont des mélanges de deux ou plusieurs sortes d'atomes, de masses voisines, mais pourtant nettement différentes.

Eléments purs. — Voici la liste des éléments purs, avec leurs masses atomiques (entre parenthèses), exprimées dans le système O = 16:

H (1,008); O (16); He (4); Be (9); C (12); N (14); F (19); Na (23); Al (27); P (31); S (32); Sc (45); Ti (48), V (51); Cr (52); Mn (55); Co (59); As (75); Y (89); In (115); I (127); Cs (133); La (139); Pr (141); Bi (208).

(1) L'expérience a montré que la relation entre le déplacement et la masse est presque linéaire, de sorte qu'il suffit de peu de lignes de référence pour obtenir les masses cherchées.

Éléments mixtes. — Les autres éléments sont constitués par des mélanges d'isotopes. Le tableau I en donne quelques-uns, à titre d'exemples. La première

TABLEAU I. — *Principaux éléments mixtes.*

Z	SYMBOLES	a	n	ISOTOPES (1)
3	Li	6,94	2	7; 6
5	B	10,82	2	11; 10
10	Ne	20,20	2	20; 22
12	Mg	24,32	3	24; 25; 26
14	Si	28,06	3	28; 29; 30
17	Cl	35,457	2	35; 37
18	A	39,88	2	40; 36
19	K	39,10	2	39; 41
20	Ca	40,07	2	40; 44
...	.....	.....	...	.....
30	Zn	65,38	4	64; 66; 68; 70
34	Se	79,2	6	80; 78; 76; 82; 77; 74
36	Kr	82,92	6	84; 86; 82; 83; 80; 78
...	.....	.....	...	.....
48	Cd	112,41	6	114; 112; 110; 113; 111; 116
50	Sn	119,0	8	120; 118; 166; 124; 119; 117; 122; (121)
52	Te	127,5	3	128; 130; 126
54	X	130,7	9	129; 132; 131; 134; 136; 128; 130; (126); (124)
80	Hg	200,6	6	(197); 202; 204; 198; 199; 200

Éléments radioactifs.

(1) Les isotopes sont rangés dans l'ordre des abondances relatives, qui correspond à l'ordre des intensités dans le spectre de masses.

colonne contient les numéros atomiques Z de ces éléments; la seconde, leurs symboles; la troisième, leurs masses atomiques a, déterminées par les méthodes chimiques; la quatrième, les nombres d'isotopes n; la cinquième, la masse atomique de chaque isotope, telle que la fournit la mesure effectuée au spectrographe de masses.

De l'examen de ce tableau se dégagent plusieurs conclusions. Tandis que les éléments purs ont des masses atomiques très voisines de nombres entiers, les masses atomiques des éléments mixtes, mesurées chimiquement, diffèrent notablement de nombres entiers; l'explication est immédiate: ils sont formés d'isotopes qui, pris séparément, possèdent des masses atomiques très voisines de nombres entiers, c'est-à-dire obéissent à la même règle que les éléments purs, mais sont mélangés dans des proportions quelconques ; il est clair que l'on ne peut dans ces conditions avoir des masses atomiques chimiques voisines de nombres entiers.

On a pu du reste préciser, par la mesure de l'opacité photographique des lignes du spectre de masses d'un mélange d'isotopes, les proportions de chaque isotope dans le mélange; et, en tenant compte de ces proportions, on a pu calculer la masse atomique globale du mélange, celle que l'on doit observer par la mesure chimique. Il y eut un accord complet avec les masses atomiques observées chimiquement.

A cet égard, une question se pose : un élément mixte, comme le chlore, a-t il la même composition isotopique, quelle que soit sa provenance? La réponse est affirmative, pour tous les cas examinés. La proportion des isotopes d'un élément mixte, qui semble n'être régie par aucune règle, est pourtant déterminée. On peut l'expliquer, en partie, par ce fait que, les isotopes ayant exactement les mêmes propriétés physiques et chimiques, il est impossible de les séparer, une fois le mélange effectué, de sorte qu'au cours de l'évolution de la Terre, les transformations des éléments par combinaisons diverses ne peuvent modifier leur composition isotopique. Reste à savoir pourquoi, au cours de la genèse de l'atome de chlore à partir d'atomes plus simples, il est apparu toujours le même mélange d'isotopes, et exactement dans les mêmes proportions.

Quoi qu'il en soit, les éléments purs et les isotopes, qui, pris séparément, sont aussi des éléments purs, ont des masses atomiques qui, dans le système $O = 16$, s'expriment, à une très petite fraction près, par des nombres entiers. C'est en cela que consiste la « règle des nombres entiers » d'Aston. L'interprétation n'en est pas encore absolument claire. Si l'on admet, ce qui paraît tout à fait probable, que le constituant fondamental des noyaux atomiques est le proton, ou noyau de l'atome d'hydrogène, il semblerait que c'est dans le système $H = 1$ que les masses atomiques devraient s'exprimer par des entiers, ce qui n'est pas. Dans le système $O = 16$, quatre atomes-grammes d'hydrogène représentent une masse de

$$4 \times 1{,}008 = 4{,}032 \text{ g},$$

alors que l'on observe 4,0 pour la masse atomique de l'hélium. Que sont devenus les 32 milligrammes qui ont disparu au cours de la synthèse de l'atome d'hélium

$$4\,H \rightarrow He.$$

L'on admet qu'au cours de cette synthèse hyperchimique, il se produit une libération formidable d'énergie ; et l'on sait, d'autre part, d'après la théorie de la relativité, que l'énergie est douée de masse. La masse de l'énergie U est donnée par

$$m = \frac{U}{c^2},$$

c étant la vitesse de la lumière. La grandeur de c fait que les libérations usuelles d'énergie ne se traduisent pas par une variation observable de masse. Il n'en sera pas de même dans le cas d'une synthèse d'atomes, dans laquelle U paraît devoir être du même ordre de grandeur que c^2. Mais, cette considération ne suffit pas à tout expliquer, car comment se fait-il que la libération d'énergie soit toujours très voisine de

$$Z \times 0{,}008 \times c^2$$

au cours de la synthèse hyperchimique d'un atome quelconque de numéro atomique Z, à partir de Z atomes d'hydrogène?

XIII. **Conclusion.** — L'on juge sur les importants résultats précédents de la prodigieuse fécondité de la méthode d'analyse par rayons positifs, initialement due à l'ingéniosité de J.-J. Thomson Cette méthode nous est apparue comme un procédé puissant pour pénétrer les plus intimes secrets de la matière, pour nous aider à saisir dans ses détails la mécanique en apparence insaisissable de ces infimes molécules ou atomes, qui sont à peu près à une goutte d'eau ce qu'est une orange à la Terre !

L. Bruninghaus,
Docteur ès sciences,
professeur agrégé de l'Université.

A propos de la théorie du magnétisme

Dans un précédent article, publié dans cette revue (*), M. Kotelnikoff étudiait les phénomènes électriques et magnétiques à la surface de séparation de deux milieux ; au cours de cette étude il introduit la notion de déplacement magnétique, par analogie avec celle du déplacement électrique de Maxwell, et fait remarquer, en note, que l'interprétation des phénomènes à la surface de séparation de deux milieux de perméabilité magnétique différente à l'aide de cette notion n'est pas conforme à l'explication donnée ordinairement de ces phénomènes. C'est ce point que M. Kotelnikoff reprend, dans l'article qui suit, pour développer sa conception et montrer les avantages qu'elle présente sur celle devenue pour ainsi dire classique. Rapprochant les relations qu'il obtient des formules usuelles, il fait ressortir les difficultés soulevées dans l'emploi de ces dernières, tandis que celles proposées semblent les éliminer. La différence essentielle entre ces deux points de vue réside essentiellement dans la valeur attribuée à l'intensité du champ magnétique dans le milieu dans lequel est introduit le corps magnétique et dans la nature des variations que subit ce champ à la surface de séparation du fait de l'introduction de ce corps.

I. **Principe d'un nouveau point de vue.** — Considérons un corps cylindrique non aimanté (fig. 1), dont la perméabilité magnétique est μ_2, placé dans le milieu de coefficient de perméabilité μ_1 et soumis à l'action

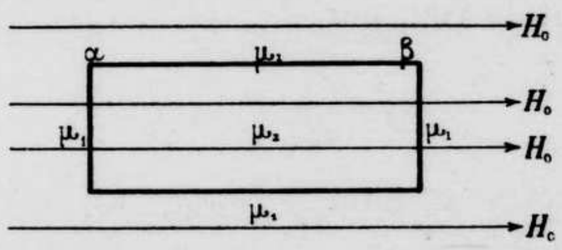


Fig 1. — Position du cylindre de perméabilité μ_2 dans le milieu de perméabilité μ_1 suivant la théorie proposée.

d'un champ uniforme d'intensité H_0. La direction de ce champ coïncide avec l'axe du corps considéré; le flux de force pénètre par la base α et sort par la face β. En appliquant à ce système les expressions (14) et (15) qui sont données dans notre article précédent (1), on a pour deux points infiniment voisins, pris de part et d'autre de la base α du cylindre considéré, c'est-à-dire dans les milieux μ_1 et μ_2 ($\mu_2 > \mu_1$),

$$\left.\begin{aligned} H'_{ext} &= H_0 - K_\alpha H_0 = \frac{2\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} H_0 \\ H''_{int} &= H_0 + K_\alpha H_0 = \frac{2\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} H_0 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

(*) A.-K. Kotelnikoff ; La pénétration des déplacements électriques ou magnétiques ainsi que des ondes électromagnétiques à la surface de séparation de deux milieux. *Revue générale de l'Electricité*, 13 juillet 1929, t. XXVI, p, 53-59.

(1) A.-K. Kotelnikoff. *Loc. cit.*

où le coefficient K_α du point de séparation dans l'espace est égal à

$$K_\alpha = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2}, \quad (2)$$

et pour deux points correspondants près de la face β on a

$$\left.\begin{aligned} H''_{int} &= H_0 - K_\beta H_0 = \frac{2\mu_1}{\mu_2 + \mu_1} H_0 \\ H'_{ext} &= H_0 + K H_0 = \frac{2\mu_2}{\mu_2 + \mu_1} H_0 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

où le coefficient K_β du point de séparation est égal à

$$K_\beta = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + \mu_1}. \quad (4)$$

En remplaçant les coefficients K_α et K_β par K

$$K = K_\beta = -K_\alpha = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + \mu_1}, \quad (5)$$

pour les deux faces les équations (1) et (3) deviennent (fig. 2)

$$\left.\begin{aligned} H'_{ext} &= H_0 + K H_0 = \frac{2\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} H_0 \\ H''_{int} &= H_0 - K H_0 = \frac{2\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} H_0 \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Ainsi, pour chacune des bases, on a deux composantes (H_0 et $\pm K H_0$) et deux résultantes H'_{ext} et H_{int}.

II. **Définition des champs composants et résultants aux surfaces de séparation.** — 1. Champs composants : 1° H_0 est l'intensité du champ pénétrant. C'est

la cause du phénomène entier, qui existait avant l'introduction du corps de perméabilité μ_2 dans le milieu de perméabilité μ_1 et subsiste après. Elle a la même direction dans tous les deux milieux. L'origine et la valeur de ce champ sont indépendantes du corps

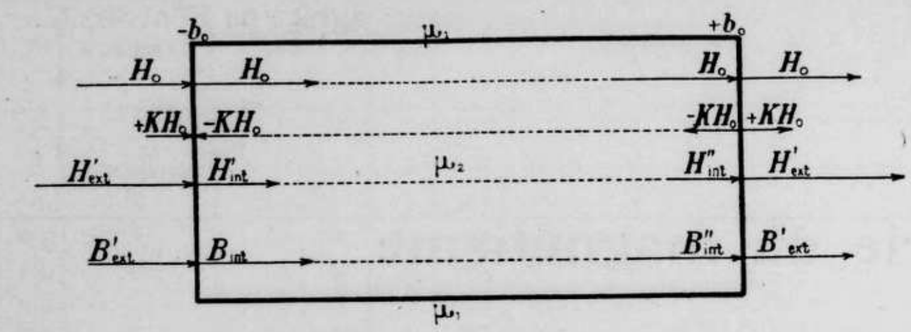


Fig. 2. — Représentation schématique, suivant le point de vue proposé, de la répartition des vecteurs du champ magnétique et de l'induction dans le cas de la figure 1.

considéré; il peut être produit, par exemple, par une bobine.

2° $\pm KH_0$ est l'intensité du champ au point de séparation qui prend naissance sur chacune des bases du cylindre considéré et agit dans les deux directions opposées de la face correspondante. Le champ est entièrement dû au corps de perméabilité μ_2 et disparaît avec ce corps. On peut admettre qu'il résulte du déplacement magnétique b_0 qui n'intervient point dans la théorie usuelle et qui est défini par

$$b_0 = \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi} H_0; \qquad (7)$$

on peut donc écrire

$$KH_0 = \frac{2\pi b_0}{\frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)}. \qquad (7')$$

Le processus de l'origine de ces dernières grandeurs est décrit en détail dans l'article mentionné plus haut (1).

2. Champs résultants. — La composition de ces deux champs donne deux résultantes :

1° H'_{ext}, l'intensité du champ extérieur (relativement au corps considéré); c'est la grandeur que Lord Kelvin a désignée sous le nom de « electromagnetic definition » ($\mu_2 > \mu_1$); ce champ agit seulement dans le milieu de perméabilité μ_1;

2° H'_{int}, l'intensité du champ intérieur, que Lord Kelvin a désigné sous le nom de « polar definition » et qui agit seulement dans le milieu de perméabilité μ_2.

Chacun de ces deux champs agit dans son milieu en y produisant l'induction correspondante ($B = 4\pi b$). Pour le milieu extérieur (μ_1) on a

$$B'_{ext} = 4\pi b'_{ext} = \mu_1 H'_{ext} = \mu_1 H_0 + \mu_1 KH_0 \qquad (8)$$

et pour le milieu intérieur (μ_2),

$$B''_{int} = 4\pi b''_{int} = \mu_2 H''_{int} = \mu_2 H_0 - \mu_2 KH_0. \qquad (8')$$

Les champs résultants, H'_{ext} et H''_{int}, ainsi que les inductions résultantes correspondantes, B'_{ext} et B''_{int}, sont liés entre eux par les équations

$$H'_{ext} = H'_{int} + 2KH_0 = H''_{int} + \frac{4\pi b_0}{\frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)} \qquad (9)$$

et

$$B'_{ext} = B''_{int}. \qquad (10)$$

Telle est la distribution des champs et des inductions magnétiques dans le cas considéré.

Dans le cas d'un corps aimanté on a les mêmes intensités, les mêmes déplacements et la même distribution. On doit seulement compter qu'en ce cas le champ H_0 est dû à la polarisation de ce corps lui-même.

La susceptibilité magnétique se définit, en partant de ce point de vue, par

$$\varkappa = \frac{b_0}{H_0} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi},$$

d'où

$$\mu_2 = \mu_1 + 4\pi\varkappa.$$

III. **Comparaison du nouveau point de vue et de la théorie usuelle.** — 1. Généralités. — Cette considération, nous semble-t-il, est plus simple que celle de la théorie usuelle de Lord Kelvin.

Pour comparer ces deux points de vue il faut rapprocher les expressions fondamentales

Expressions proposées :	Expressions adoptées ordinairement :
$H'_{ext} = H_0 + KH_0$	.....
$H''_{int} = H_0 - KH_0$	.....
$H'_{ext} = H''_{int} + \frac{4\pi b_0}{\frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)}$	$H'_{ext} = H''_{int} + \frac{4\pi J}{\mu_1}$
$B'_{ext} = \mu_1 H'_{ext} = \mu_1 H_0 + \mu_1 KH_0$ $B''_{int} = \mu_2 H''_{int} = \mu_2 H_0 - \mu_2 KH_0$	$B'_{ext} = B''_{int} = \mu_1 H'_{int} + 4\pi J$
$b_0 = \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi} H_0$	$\sigma = J = \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi} H''_{in}$
$\mu_1 H'_{ext} = \mu_2 H''_{int}$	
$\mu_2 = \mu_1 + 4\pi\varkappa.$	

(1) A.-K. Kotelnikoff. *Loc. cit.*, p. 57.

L'idée fondamentale de la théorie usuelle du magnétisme (de Lord Kelvin) est de considérer un corps aimanté comme un barreau qui a des masses $+m$ et $-m$ à ses extrémités liées par un axe. En outre, ordinairement on admet que le milieu qui remplit l'intérieur du barreau considéré est le même que celui qui se trouve à l'extérieur, c'est-à-dire de perméabilité μ_1. On ajoute souvent la condition $\mu_1 = 1$.

Ainsi la théorie usuelle supprime l'un des deux milieux, celui de perméabilité μ_2 supérieur à μ_1 en le remplaçant par l'autre et suppose que sur les faces du cylindre envisagé est distribuée une couche superficielle de magnétisme qui peut produire tous les phénomènes qui font l'objet de nos considérations (fig. 3). D'après cette théorie, les faces du barreau considéré perdent

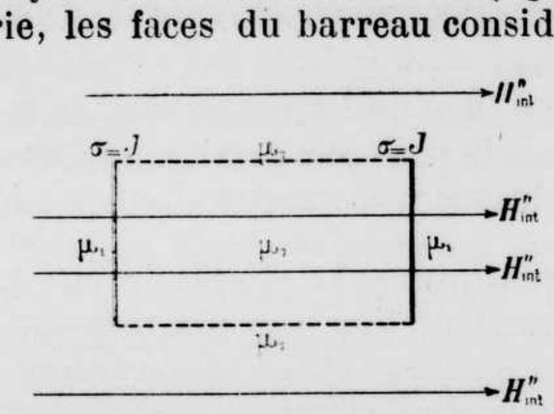


Fig. 3. — Position du cylindre de perméabilité μ_2 dans le milieu de perméabilité μ_1, suivant la théorie usuelle.

leur rôle physique de surface de séparation parce que cette surface, d'après cette théorie, est dans un milieu homogène de perméabilité μ_1.

La définition de cette couche qui satisfait à la condition de l'homogénéité du milieu conduit à l'expression

$$\sigma = J = \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi} H'_{int}.$$

Cette couche est définie comme la différence des déplacements produits par H''_{int} de part et d'autre du point de séparation. Conformément à cette définition, on admet ordinairement (1) que H'_{int} est l'intensité du champ qui existait avant l'introduction du corps de perméabilité μ_2 et augmente après son introduction. La théorie en usage remplace donc les phénomènes réels par les phénomènes fictifs.

2. Examen critique de quelques points. — 1° La concentration de toute l'action magnétique dans les deux faces et l'homogénéité du milieu est extrêmement commode au point de vue mathématique (2), mais nous préférons fonder la théorie du magnétisme sur la polarisation du milieu, parce qu'elle permet d'obtenir des résultats se rapprochant davantage de la réalité.

Pour déduire, par exemple, de l'expression

$$H'_{ext} = H''_{int} + \frac{4\pi J}{\mu_1}$$

(1) P. Janet. *Leçons d'électrotechnique générale*, 6e édition, t. 1, p. 93-94, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, à Paris.

(2) Par exemple, cette couche superficielle, $\sigma = J$, est celle qui détermine ordinairement le mouvement du corps dans le milieu.

celle de l'induction on la multiplie par μ_1 et on a

$$B'_{ext} = \mu_1 H'_{ext} = \mu_1 H''_{int} + 4\pi J.$$

Dans cette expression le terme $\mu_1 H''_{int}$ est difficile à interpréter au point de vue physique, parce que l'intensité H''_{int} agit dans le milieu de perméabilité μ_2. C'est pour expliquer cette expression que la théorie usuelle doit introduire dans le corps magnétique des cavités cylindriques parallèles et perpendiculaires aux lignes d'aimantation dont la présence justifie l'action du champ H''_{int} dans un milieu de perméabilité μ_1. Cette explication est plus mathématique que physique parce que la fiction des cavités ne correspond à aucune réalité.

2° De l'expression

$$H'_{ext} = H''_{int} + \frac{4\pi J}{\mu_1}$$

résulte qu'après l'introduction du barreau considéré dans le milieu de perméabilité μ_1 où, avant l'introduction, existait le champ d'intensité H''_{int}, cette intensité augmente et donne au champ l'intensité H'_{ext} (fig. 4). On ne conçoit pas que l'intensité $\frac{4\pi J}{\mu_1}$, qui est produite par la couche fictive, $\sigma = J$, agisse seulement dans une direc-

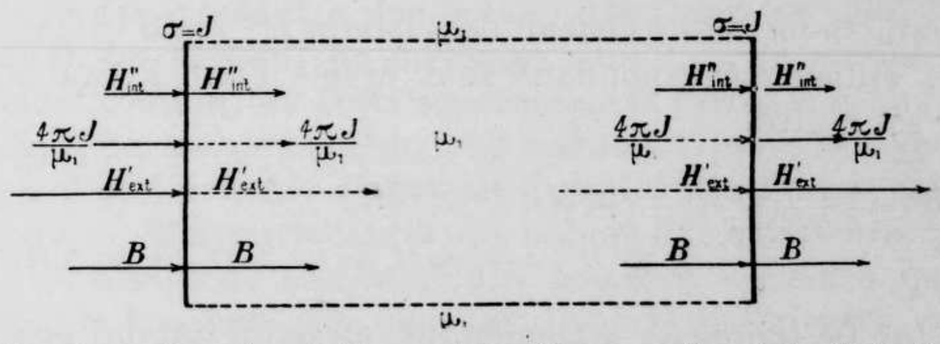


Fig. 4. — Représentation schématique, suivant la théorie usuelle, de la répartition des vecteurs du champ magnétique et de l'induction dans le cas de la figure 3.

tion, tandis qu'au point de vue physique elle doit agir dans deux directions opposées. On doit donc conclure que le tableau de la figure 4 est le tableau résultant et que le champ primitif doit être d'intensité plus grande que H''_{int} et inférieure à H'_{ext}.

C'est pourquoi nous n'admettons pour l'intensité du champ primitif ni H'_{ext} ni H''_{int}. Ces intensités ne sont que les résultantes. Notre interprétation amène à une nouvelle intensité H_0 qui n'intervient point dans la théorie usuelle. Cette intensité H_0 est celle d'un champ dû soit à une bobine, soit aux autres corps aimantés, soit à la polarisation du barreau considéré lui-même.

3° L'introduction de cette intensité H_0 conduit à celle de la nouvelle grandeur b_0 que nous désignons sous le nom de « densité magnétique véritable superficielle libre » (1),

$$b_0 = \frac{\mu_2 - \mu_1}{4\pi} H_0.$$

(1) *Loc. cit.*

Cette grandeur n'est pas fictive, comme l'intensité d'aimantation J, parce qu'elle est due à l'action du champ d'intensité H_0 simultanément dans les deux milieux différents voisins, tandis que l'aimantation J suppose l'homogénéité du milieu, remplacement de deux milieux par l'un d'eux, c'est-à-dire des conditions fictives.

4° On ne conçoit pas non plus pourquoi le vecteur

$$H'_{ext} = H''_{int} + \frac{4\pi J}{\mu_1}$$

a une distribution continue, et non le vecteur H''_{int}. Cette continuité nous semble provenir de l'homogénéité du milieu. Si l'on substitue aux deux milieux non pas le milieu de perméabilité μ_1, mais celui de perméabilité μ_2, en admettant encore $\mu_2 = 1$, on assurera la continuité de l'autre vecteur. En partant de notre point de vue, ces deux vecteurs diffèrent seulement par le milieu où ils agissent : H'_{ext} dans le milieu de perméabilité μ_1 et H''_{int} dans celui de perméabilité μ_2. C'est pourquoi ils sont de même nature et aucun d'eux n'a une distribution continue.

Il y a un seul vecteur qui satisfasse à cette condition de distribution continue pour tous les points tant intérieurs qu'extérieurs au corps considéré : c'est le vecteur du déplacement magnétique b ou celui de l'induction $B = 4\pi b$. Cette continuité provient de ce que les inductions dues à chacun des champs H'_{ext} et H''_{int} dans le milieu correspondant sont égales l'une à l'autre, c'est-à-dire

$$B'_{ext} = \mu_1 H'_{ext} = \mu_1 H_0 + \mu_1 K H_0$$
$$= B''_{int} = \mu_2 H''_{int} = \mu_2 H_0 - \mu_2 K H_0.$$

5° De fréquents malentendus, au point de vue physique, résultent de l'usage selon lequel on admet $\mu_1 = 1$. Cela conduit, en particulier, à l'absence dans les formules d'une indication sur le rôle du milieu dont le coefficient de perméabilité est pris égal à l'unité et à l'inexactitude apparente des quelques affirmations telles que celle suivant laquelle « l'induction magnétique se confond avec le champ magnétique, pour tous les points extérieurs », tandis que le champ et l'induction sont de nature différente.

Au point de vue mathématique de la théorie usuelle résultent des formules non homogènes en apparence ; ainsi pour $\mu_1 = 1$ on a

$$H'_{ext} = H''_{int} + 4\pi J$$

où H'_{ext} et H''_{int} ont les dimensions de l'intensité du champ et J a la dimension du déplacement.

La base de la théorie usuelle, qui consiste à considérer deux masses $+m$ et $-m$ aux extrémités d'un axe placé dans le milieu uniforme, conduit à la considération des masses fictives et à l'action de tous les champs dans les conditions ne correspondant pas à la réalité.

IV. **Conclusion.** — Le point de vue proposé est basé sur la considération non des masses, mais de la polarisation des milieux et de l'action de tous les champs dans le milieu correspondant, c'est-à-dire dans des circonstances réelles ; il en résulte que toutes les expressions déduites de cette nouvelle théorie ont un sens physique, sans qu'il soit nécessaire de recourir à des cavités dans le corps magnétique.

La différence principale consiste à admettre pour la cause primordiale des phénomènes considérés non pas le champ intérieur H''_{int} qui n'est qu'une résultante, mais le champ pénétrant H_0 qui, en agissant dans tout l'espace considéré, existait avant l'introduction du corps magnétique et subsiste après.

A.-K. Kotelnikoff,
Directeur de la chaire des Recherches scientifiques d'électrotechnique, à Kiev (Ukraine).

Revues, analyses et informations

L'influence de la température sur la capacité et la résistance de polarisation de solutions d'acide sulfurique (1).

L'effet de la température sur la capacité de polarisation et la résistance de polarisation n'a été que peu étudié. Sheldon, Leitch et Shaw ont déterminé le coefficient de température de la capacité pour les systèmes

$$Pt|H^2SO^4|Pt \text{ et } Hg|H^2SO^4|Pt.$$

Schönherr a étudié l'influence de la température sur la réduction des électrodes à un état correspondant à une capacité minimum. Le présent travail a été entrepris pour déterminer la nature et la grandeur des changements de capacité et de résistance de polarisation sous l'effet des variations de température, dans diverses conditions de concentration, de fréquence et de nature des électrodes, tant au point de vue matière qu'à celui de l'état des surfaces.

Les mesures ont été exécutées pour des électrodes d'or et de platine dans des solutions sulfuriques de concentrations d'azote égales à 0,63, 1,50 et 2,42 ; on a aussi étudié à diverses fréquences des solutions ayant une concentration de 1,46. Dans le but de mettre les électrodes dans un état tel que la capacité de polarisation soit minimum, on a utilisé une méthode de traitement thermique qui s'est montrée très efficace. Pendant ce traitement, la valeur de la capacité de polarisation décroît jusqu'à environ la moitié de sa valeur initiale et la résistance devient plusieurs fois supérieure à sa valeur initiale. Les électrodes étant amenées à l'état requis, on peut alors obtenir des valeurs consistantes de la capacité et de la résistance.

Le coefficient de température de la capacité est environ le double avec les électrodes de platine qu'avec celles d'or ; il semble indépendant de la concentration.

Le coefficient de température de la capacité croît avec la fréquence pour les électrodes de platine ; il décroît au contraire dans le cas d'électrodes en or. — L. B.

(1) E.-E. Zimmerman. *The physical Review*, 1er mars 1930, t. xxxv, (2e série), p. 543-553, 3 000 mots, 5 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Machines à bobiner les tores sans entrefer

La réalisation d'une machine à bobiner les tores sans entrefer soulève quelques problèmes dont cet article donne un aperçu. Les solutions imaginées par l'auteur peuvent être classées en trois catégories suivant les lois imposées au mouvement de chacun des deux organes essentiels de ces machines, le magasin et le distributeur. Après avoir établi cette classification, l'auteur décrit un système de chacune de ces catégories et en précise les conditions de fonctionnement.

I. **Exposé du problème.** — On sait que la forme de tore pour une carcasse magnétique permet de répartir les enroulements tout le long du circuit et donne le minimum de fuites, à condition de ne pas avoir d'entrefer. Malgré les difficultés de bobinage, les carcasses annulaires complètement fermées sont universellement employées, principalement en téléphonie. Elles sont constituées par des anneaux de tôle empilés ou des fils de fer doux isolés pour les transformateurs de courant.

Sur les réseaux téléphoniques, pour les bobines de Pupin et autres appareils, on utilise de préférence des carcasses toriques constituées par une limaille très fine agglomérée par un isolant, l'ensemble étant moulé et comprimé à haute pression.

Le bobinage est effectué généralement à la main, à l'aide d'une navette droite que l'on fait passer successivement à l'intérieur et à l'extérieur du tore, ce qui exige un temps très long lorsque l'enroulement doit comporter un grand nombre de spires. Celles-ci doivent être bien réparties, régulièrement rangées et d'un serrage uniforme.

Le problème nous fut posé en 1923 (1). Il s'agissait de construire une machine susceptible d'effectuer automatiquement ces différentes opérations. Remarquons qu'un travail à répétition effectué à la main est toujours discontinu. On peut distinguer une période de préparation alternant avec une période utile. Seuls, les mouvements de machine peuvent comporter des cycles constamment utiles et sont, pour cette raison, infiniment supérieurs. Cela tient à la possibilité de réaliser des déplacements successifs fermés. Tous les assemblages mécaniques comportent comme organes essentiels des roues et, chaque fois que cela sera possible, on s'efforcera de remplacer un mouvement de va-et-vient par une rotation autour d'un centre qui permet d'atteindre la plus grande rapidité et le meilleur rendement.

Pour le cas particulier que nous décrivons ici, on peut faire ressortir la considération générale suivante.

Si on veut faire passer un même fil à travers une ou plusieurs ouvertures pratiquées dans un corps solide de façon à enserrer ce dernier par des boucles successives, il est nécessaire de faire passer chaque fois, à travers le corps considéré, la masse totale du fil dont fait partie l'extrémité de l'enroulement, à moins de procéder par petites fractions détachées et réunies par la suite. C'est ainsi que l'on peut disposer sur le tore, de préférence de section circulaire, une série de bobines, plates, chacune d'elles étant libre de tourner sur elle-même. De cette façon, on peut enrouler sur les bobines, en donnant à chacune d'elles un mouvement de rotation, le fil appartenant à une bobine fixe; mais on obtient alors des sections de bobinage, plutôt qu'un enroulement continu, du reste séparées de la carcasse magnétique par les corps mêmes des bobines. C'est le seul cas où il soit possible d'enrouler dans les conditions exigées un fil appartenant à une bobine fixe extérieure.

Remarquons encore qu'une machine à coudre qui utilise les deux fils de deux bobines extérieures ne résout pas le problème du va-et-vient continu d'un fil à travers une série d'ouvertures, mais elle le tourne, en réalité, en procédant par enserrement de la trame entre deux fils enchevêtrés l'un dans l'autre.

Les systèmes mécaniques que nous décrivons ici comportent donc nécessairement le passage de la masse totale du fil à travers l'anneau. Ce passage s'effectue par une rotation continue, l'intervention de l'ouvrier se bornant à préparer la navette, à disposer le tore à l'endroit voulu, à rattacher ou détacher le fil d'entrée et de sortie et à régler, si c'est nécessaire, la vitesse d'enroulement; toutes les autres opérations se font automatiquement.

II. **Principe de la solution.** — Pour obtenir l'action désirée, une première réalisation consisterait à donner à une navette porte-bobine une trajectoire circulaire ou ovale passant par le centre du tore, l'extrémité du fil étant rattachée en un point du tore d'une part, et à la bobine, d'autre part, cette dernière étant susceptible de tourner autour de son axe sous une légère traction du fil. Dans cette disposition, deux modalités peuvent être envisagées selon que le support matériel de la navette est fixe ou entraîné dans la rota-

(1) *Brevets français nos 594 091* et *610 893*, déposés par S.-S. Held. La licence exclusive de ces brevets a été acquise par la Société industrielle des Téléphones (France).

tion. Dans le premier cas, la navette progresse sur un chemin de roulement formé par exemple de deux rails garnis de galets tournants. Les rails ainsi que les roulettes peuvent être aimantés par un électroaimant, de telle façon que la navette en fer doux fermant le circuit magnétique se trouve fortement appliquée contre le support et progresse tout le long du circuit nécessaire pour enrouler le fil.

Dans le second cas, le support et la navette sont animés ensemble d'un mouvement de rotation. Ce support peut être une courroie sans fin, une chaîne à rouleaux, un ressort à boudin à spires serrées ou une jante circulaire. Le guidage est assuré par des galets.

Quelle que soit la solution adoptée, on doit prévoir dans le support une ouverture pour permettre l'introduction du tore. Comme tout rayon ferait obstacle à la rotation, le porte-navette tournant doit être soutenu par des galets extérieurs ou intérieurs, trois ou moins, dans le cas d'une jante circulaire. L'inconvénient de ce système est la faible capacité de bobinage. Il ne trouverait son utilité que s'il fallait enrouler en même temps, côte à côte, plusieurs fils appartenant à des navettes différentes disposées à la périphérie de la jante. L'idée vient tout naturellement d'utiliser la totalité de la jante comme navette ou magasin de fils. On donnera alors à celle-ci la forme d'une bobine torique et l'enroulement comportera deux phases : introduction du tore dans la jante et bobinage du fil sur cette dernière ; dévidage du magasin au profit du tore une fois l'extrémité du fil rattachée à celui-ci. Cette dernière opération doit se faire par une pièce nécessairement circulaire qui guide et enroule le fil d'un mouvement continu, le rôle du magasin consistant à fournir le fil au fur et à mesure de l'emploi. Comme les tores comportent généralement un petit diamètre intérieur, précisément vers la fin du bobinage, le nombre de spires contenu dans le magasin ne peut être très élevé et il faut donner à celui-ci un grand diamètre. L'axe du tore coïncide toujours avec le centre de la section droite du magasin ; mais il n'est plus possible de faire coïncider l'axe de rotation du magasin avec le centre d'une section droite du tore. Les deux anneaux, tore et magasin, sont excentrés l'un par rapport à l'autre. Dans ces conditions, le fil subit des variations de tension et de relâchement selon qu'il se trouve dans la région d'excentricité croissante ou décroissante. Le magasin devra donc dévider du fil à certains moments et le renvider à d'autres moments en assurant une tension constante. On voit, par conséquent, que le magasin sera animé par rapport au guide-fil ou distributeur d'un mouvement alternatif à vitesse variable.

III. **Classification des solutions proposées.** — Le principe général restant le même, les dispositifs dont nous donnons ci-après la description peuvent être classés en trois catégories selon la manière dont sont obtenus les mouvements combinés du magasin et du distributeur : 1° Le distributeur est animé d'une vitesse uniforme dans un même sens et le magasin sollicité à se mouvoir constamment en sens inverse, par une action n'entravant pas le débobinage et telle que le renvidement se produise dès que le fil se relâche ;

2° Le distributeur est entraîné à vitesse uniforme dans le même sens et le magasin reçoit un mouvement variable dans les deux sens, réglé d'avance, d'après la position du fil au cours de la rotation. Ce système convient de préférence pour le bobinage rapide en série des tores sensiblement identiques ;

3° La tension du fil est contrôlée par le fil lui-même agissant par une sorte de servomoteur sur les mouvements combinés du magasin et du distributeur, accélérant, ralentissant, ou arrêtant, selon les besoins, l'un de ces mouvements.

IV. **Description d'un dispositif de la première catégorie.** — Dans la forme d'exécution représentée sur les figures 1 et 2, le magasin est en a, bobine de

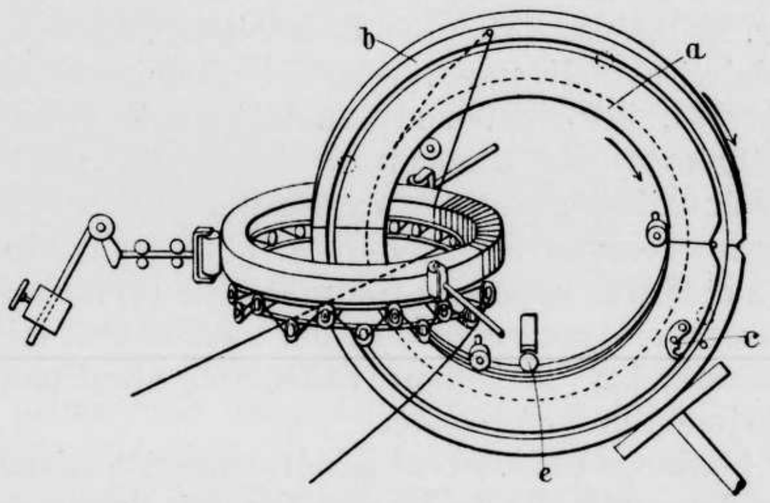


Fig. 1. — Croquis de la machine à bobiner du système à tenseur électromagnétique (vue de côté).

forme torique pouvant tourner autour de trois galets soutenus par le bâti, non figuré, de la machine.

Une des joues de cette bobine constitue un chemin de roulement pour une couronne annulaire ou distri-

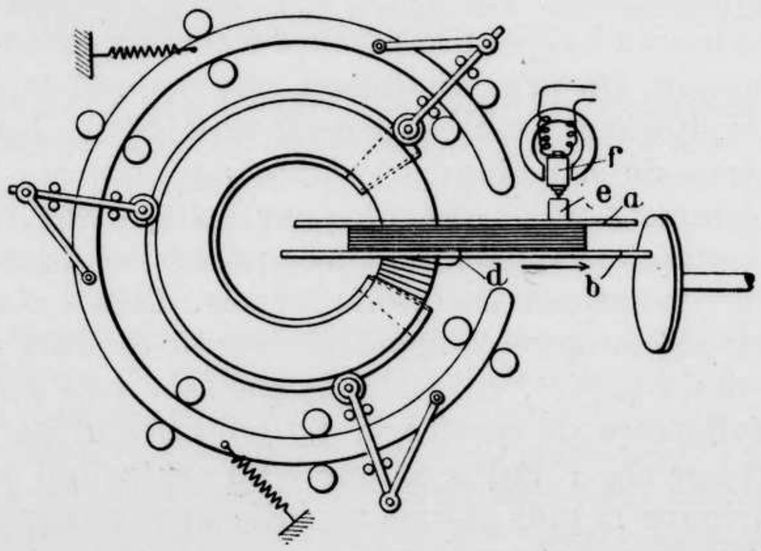


Fig. 2. — Autre vue schématique de la machine à bobiner du système à tenseur électromagnétique, représentée sur la figure 1.

buteur b ; la bobine et la couronne qui l'entoure peuvent s'ouvrir chacune en deux moitiés articulées par des charnières. Un engrenage à friction permet de

donner un mouvement de rotation continu au distributeur, d'inverser, de ralentir ou d'accélérer le mouvement selon la propriété bien connue des plateaux à friction.

Le tore repose librement par sa face inférieure sur une bande de cuir, ou de caoutchouc, formant un anneau plat replié sur lui-même, de façon à laisser une ouverture suffisante pour le passage du magasin et du fil qu'il entraîne. Cette bande flexible est mue à la façon d'un tapis roulant par une série de galets disposés sur tout son pourtour. Tous les galets peuvent être moteurs, ou une partie seulement.

La figure 3 représente le système d'entraînement du tore réduit à la courroie d'entraînement. Il est facile de se rendre compte qu'en imprimant aux galets une rotation dans le même sens, on provoque un déplacement circulaire de la courroie qui se renouvelle sans cesse.

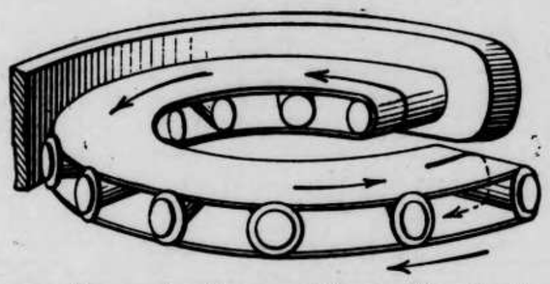


Fig. 3. — Croquis du système d'entraînement de la machine à bobiner représentée sur les figures 1 et 2.

Ce mécanisme est complété par des rouleaux d'adhérence à la partie supérieure du tore et par un système automatique de centrage formé en principe de trois rouleaux ou galets identiques pressant sur la périphérie du tore et formant entre eux un angle de 120°.

Pour bobiner un tore, on procède de la façon suivante : on entr'ouvre le magasin a, on pose le tore sur sa courroie d'entraînement, on rapproche les deux parties du magasin et de sa couronne extérieure qui se verrouillent par un enclenchement élastique. Ceci étant fait, on enroule la quantité de fil nécessaire sur le magasin en lui donnant un mouvement de rotation par l'intermédiaire du plateau à friction. Auparavant, on a eu soin de rendre solidaires le magasin et le distributeur par un crochet c ; l'enroulement terminé, on passe l'extrémité du fil à travers la couronne sur une poulie d et on le rattache au tore. Le crochet étant enlevé, il suffit de donner au distributeur un mouvement de rotation inverse du précédent pour enrouler tout le fil du magasin sur le tore.

La figure 4 donne le détail du passage du fil à travers la couronne du distributeur. Le fil passe sur une poulie pivotée entre deux crapaudines, à l'intérieur d'une petite sphère, ou bille, qui peut elle-même tourner entre deux portées sphériques concaves dont l'une, mobile, est appuyée sur la bille par un ressort. Cette disposition permet à la poulie de s'orienter dans toutes les directions au gré du fil qui la sollicite.

Afin de conserver pendant la rotation une tension uniforme au fil, il a été prévu un rouleau e (fig. 1) entraîné à friction par le magasin. Ce rouleau tourne normalement dans le sens où le magasin l'entraîne, mais il sollicite constamment ce dernier à tourner en sens contraire, ce qui a pour effet d'enrouler le fil dès que celui-ci se relâche. Ce mouvement lui est imprimé par un petit induit de magnéto parcouru continuellement par du courant continu et réalisant un véritable lien magnétique qui assure la tension du fil sans entraver sa rotation. On peut remplacer l'induit bobiné par une pièce métallique (cuivre, aluminium, etc.) sur laquelle on fera agir un champ tournant créé, soit par un système avec courant alternatif dans des bobines, soit par un aimant permanent animé d'un mouvement de rotation autour d'un rotor en cage d'écureuil ou d'un noyau en tôles feuilletées sans cuivre, ce qui aurait pour résultat de rendre le couple indépendant de la vitesse de l'aimant. On règle la tension facilement, en cours de marche, en agissant selon les systèmes par variation des courants, variation des entrefers, par shunt magnétique, etc.

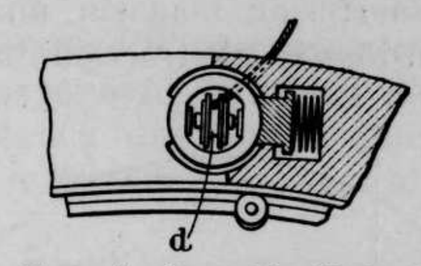


Fig. 4. — Croquis du guide-fil du distributeur de la machine à bobiner représentée sur les figures 1 et 2.

On voit sur la figure 2 le système permettant d'obtenir un centrage du tore : trois rouleaux sont réunis à une pièce annulaire par l'intermédiaire de biellettes ; le déplacement radial d'un seul rouleau dans un sens ou dans l'autre entraîne le déplacement des deux autres. Cet asservissement est complété par des ressorts de rappel.

V. Description d'un dispositif de la deuxième catégorie. — Le dispositif de rappel décrit dans le paragraphe précédent exerce sur le fil une traction dans la région d'excentricité croissante dont la valeur, lorsque le système est en mouvement, est supérieure à celle qu'elle aurait au repos (si on arrêtait tout le système) par suite des variations de l'accélération. Dans la région d'excentricité décroissante, le fil tend à se relâcher et le petit moteur entraîne alors le magasin en sens inverse. La rapidité de cette action doit être subordonnée à celle de la variation de la longueur du brin allant du tore au distributeur et, par conséquent, à l'excentricité de ces derniers, au diamètre et à la vitesse du distributeur. Si I est le moment d'inertie du magasin par rapport à l'axe de rotation R, le rayon, ω, la vitesse angulaire à l'instant considéré, la tension I du fil est donnée par l'expression

$$T = \frac{K}{R}\omega + \frac{I}{R}\frac{\mathrm{d}\,\omega}{\mathrm{d}\,t}\ ;\ K \text{ étant une constante.}$$

Si le moment d'inertie du système mobile par rapport à l'axe est grand et la vitesse du distributeur, élevée, on pourrait avoir une traction suffisante pour le

débobinage, mais un serrage insuffisant au renvidage ou, au contraire, avoir un bon serrage au renvidage, mais exagéré au débobinage.

La solution envisagée ci-après consiste à utiliser, pour vaincre l'inertie du magasin, une énergie extérieure non subordonnée à la traction du fil. Cette solution s'applique particulièrement au bobinage de tores sensiblement identiques. Dans ce cas, on peut déterminer d'avance les mouvements nécessaires à donner au magasin au fur et à mesure du déroulement du fil.

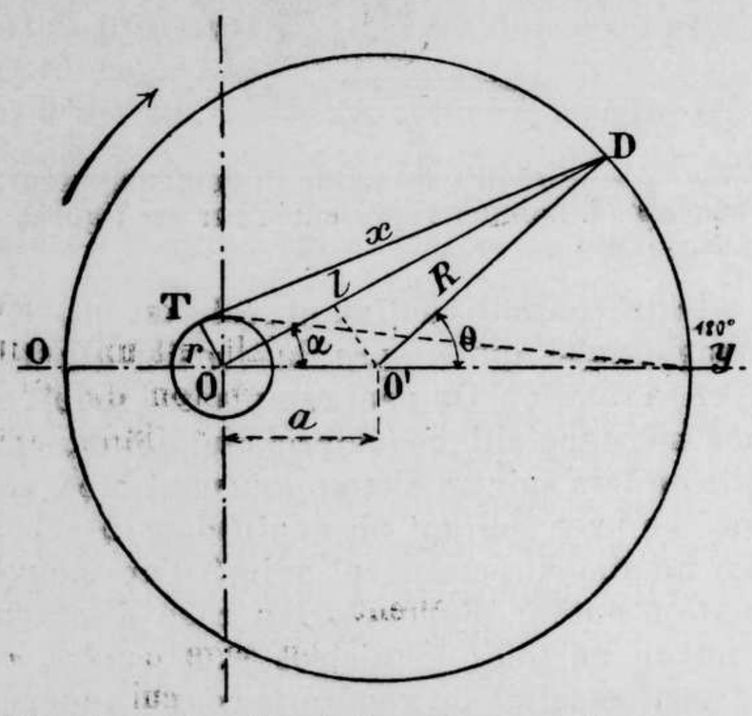


Fig. 5. — Représentation d'une section du tore et du magasin.

Soient (fig. 5) R le rayon du distributeur que l'on peut confondre avec celui de la spire moyenne de l'enroulement porté par le magasin, r le rayon moyen du tore, a l'excentricité, x la longueur DT d'un brin de fil allant d'un point du distributeur au tore et tangent à ce dernier, l la longueur OD entre le centre du tore et le point considéré faisant à un instant donné un angle α avec l'axe Oy pris comme origine. Lorsque le distributeur tourne d'un angle dα le magasin déroule ou enroule une longueur de fil

$$R\,\mathrm{d}\theta = \mathrm{d}x - r\,\mathrm{d}\alpha,$$

dθ étant l'angle dont tourne le magasin. La vitesse de rotation du magasin est donc

$$R\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} - \frac{r\,\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t} = \omega\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}\alpha} - r\omega.$$

Si l'on tient compte de ce que

$$x = \sqrt{l^2 - r^2} \quad \text{et} \quad l = a\cos\alpha + \sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha}$$

on a

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}\alpha} = \frac{1}{2\sqrt{l^2 - r^2}}\frac{\mathrm{d}l^2}{\mathrm{d}\alpha}$$

et en remplaçant $\frac{\mathrm{d}l^2}{\mathrm{d}\alpha}$ par sa valeur :

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}\alpha} = \frac{-a\sin\alpha}{\sqrt{a^2\cos 2\alpha + 2a\cos\alpha\sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha} + R^2 - r^2}}\left[2a\cos\alpha + \frac{a^2\cos^2\alpha}{\sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha}} + \sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha}\right]$$

$$\text{et } R\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = -\frac{a\omega\sin\alpha}{\sqrt{a^2\cos 2\alpha + 2a\cos\alpha + \sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha} + R^2 - r^2}}\left[2a\cos\alpha + \frac{a^2\cos^2\alpha}{\sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha}} + \sqrt{R^2 - a^2\sin^2\alpha}\right] - r\omega.$$

Les courbes représentatives des différentes fonctions sont représentées sur la figure 6, pour un rayon r du tore, le rayon R du magasin étant égal à 6 r et la distance a entre le centre d'une section droite du tore et le centre de rotation du magasin (excentricité), à 6 r. La courbe 1 représente les variations des longueurs du brin de fil pour une rotation de 360°; la courbe 2, la différence de longueur entre deux brins, consécutifs lorsque l'angle de rotation tend vers zéro. A cette différence a été ajouté $r\,\mathrm{d}\alpha$ dans la partie positive (débobinage du magasin) et retranché $r\,\mathrm{d}\alpha$ dans la partie négative (renvidage du fil). La fonction n'est donc pas symétrique par rapport à l'axe Ox et ne s'annule pas pour 180°. Lorsque a augmente et tend vers R, la courbe devient sensiblement une conchoïde de cercle ou limaçon de Pascal. La courbe 3 représente les différences de longueur entre deux vecteurs consécutifs menés du centre du tore à la périphérie. Connaissant la vitesse angulaire constante du distributeur, la courbe 2 permet de déterminer, pour toutes les positions, la vitesse angulaire à donner au magasin pour que le fil reste toujours tendu.

Comme ces mouvements ne peuvent, par suite des conditions légèrement variables, être qu'approchés, les liaisons mécaniques ne doivent pas être toutes rigides, mais elles comporteront un intermédiaire élastique absorbant les petites différences entre les mouvements réels et les mouvements imposés. Cette liaison élastique complémentaire pourra être réalisée précisément par le système de tenseur magnétique décrit ci-dessus ou par un tenseur purement mécanique (ressort). La figure 7 représente l'ensemble de la machine à bobiner réduite à ses organes essentiels : a est le magasin, b est le distributeur entraîné dans une rotation uniforme, h, un cylindre tournant ou came, munie d'une rainure dont le profil est déterminé d'après la courbe 2 (fig. 6), en tenant compte des déformations apportées aux mouvements par tous les organes de transmission. Cette came imprime à un galet i un mouvement de va-et-vient entre un plateau à friction j et un cylindre moteur g.

On peut ainsi donner au magasin et au distributeur un mouvement relatif tel que le fil ne soit ni trop tendu, ni trop relâché, mais légèrement flou, pour tenir compte des différences dues aux petites irrégularités, la tension

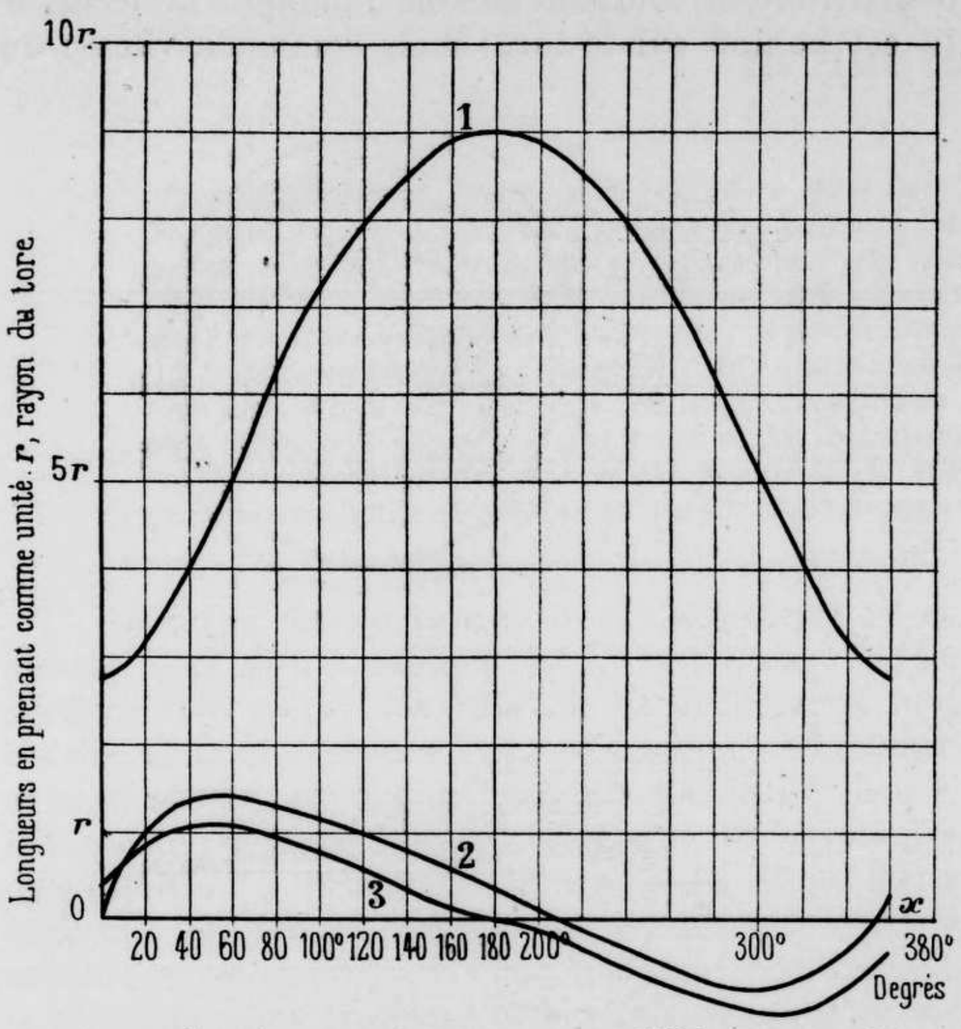


Fig. 6. — Courbes représentant pour différentes positions angulaires les variations : 1, de la longueur $x = DT$; 2, de la longueur de fil que doit fournir ou enrouler le magasin pour chaque position du distributeur; 3, de la longueur $l = OD$.

parfaite étant assurée par un tenseur dont la disposition est représentée sur la figure 8. Ce tenseur est constitué par une lanière de caoutchouc. Lorsque le rayon d'une spire augmente de r_1 à r_2, la vitesse de déroulement du fil doit augmenter. La différence de vitesse est sensiblement proportionnelle au produit de la vitesse angulaire du distributeur par la différence des rayons des spires. On peut donc, dans le cas d'un bobinage d'épaisseur très variable, conserver toujours

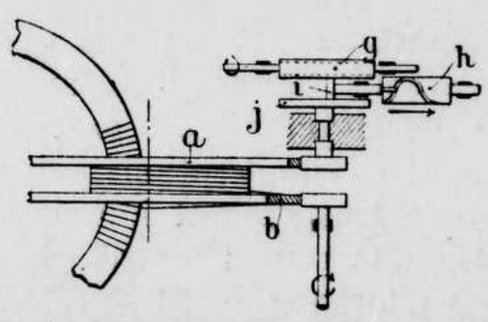


Fig. 7. — Croquis de l'ensemble de la machine à bobiner à distributeur à vitesse constante et à magasin à vitesse variable : a, magasin ; b, distributeur ; g, cylindre moteur ; h, came ; i, galet ; j, plateau à friction.

au fil la même tension relative, sans changer l'excentricité du tore et du distributeur, par un réglage, en déplaçant par exemple la came et le galet ou le galet seul par rapport à l'axe de la roue à friction. Cette correction peut s'effectuer en cours de fonctionnement selon des dispositions connues. Un jeu de cames permet, si c'est nécessaire, d'utiliser des tores de sections très différentes.

VI. Description d'une machine à bobiner de la troisième catégorie. — Le distributeur et le magasin sont sollicités (fig. 9) à tourner dans le même sens par deux roues à friction l et k entraînées par un arbre

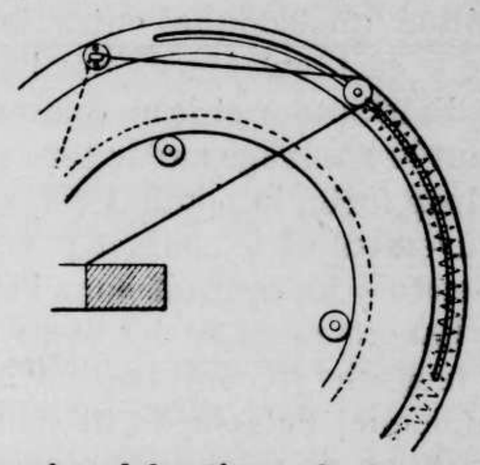


Fig. 8. — Croquis schématique du tenseur de la machine représentée sur la figure 7.

unique, grâce à un système de petits ressorts frottants à pression réglable. Un électroaimant polarisé permet de faire pivoter autour d'un axe une ancre m, de façon à provoquer l'arrêt de la roue l ou k ; ainsi on a, dans certains cas, le mouvement simultané du magasin et

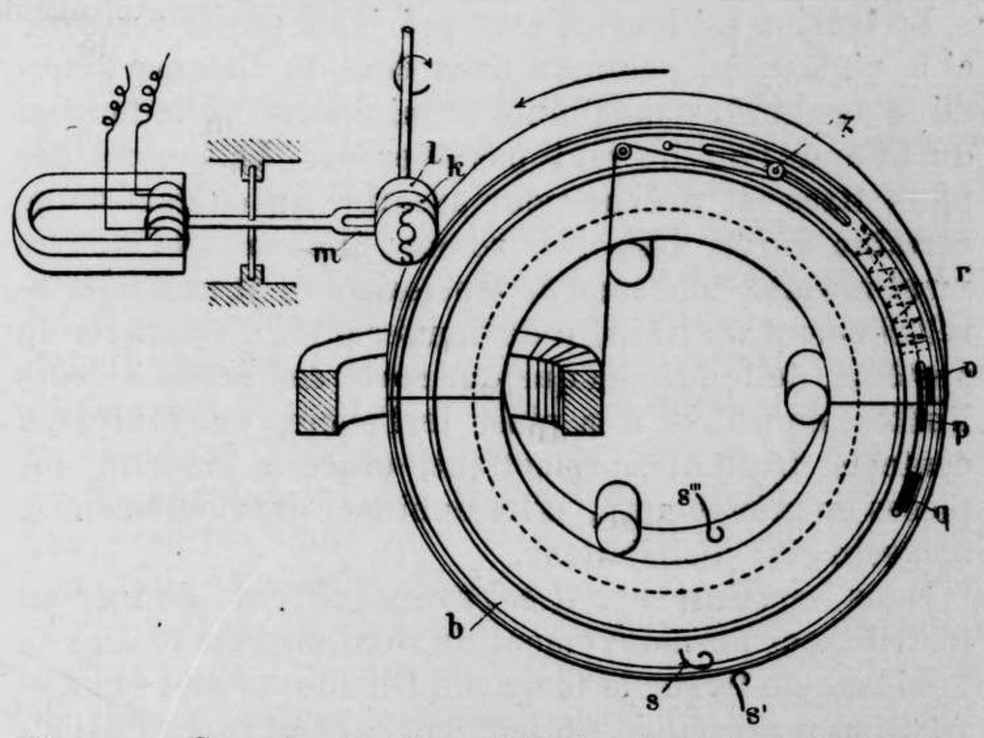


Fig. 9. — Croquis du dispositif de régulateur de tension du fil à servomoteur commandé par le fil, le mouvement de rotation étant de sensinverse de celui de l'enroulement du magasin : k et l, roues à friction ; m, ancre ; o et q, plots fixes ; p, contact ; r, ressort ; s, s', s''', balais ; z, poulie.

du distributeur, dans d'autres cas, l'arrêt de l'un ou de l'autre de ces deux organes.

Le fil venant du magasin passe par une poulie z mobile dans une coulisse et sur une poulie fixe avant de se rattacher au tore. La poulie z est susceptible de se déplacer dans une rainure circulaire ; elle est solidaire d'une tige incurvée qui porte elle-même un contact p. Ce contact se déplace dans une rainure et peut

venir glisser entre deux plots fixes o et q. Un ressort r ou une lanière de caoutchouc sollicite la poulie z à tendre le fil. Le distributeur porte deux conducteurs isolés très plats, le premier situé à la périphérie, le deuxième, d'un rayon plus petit que le premier. Ces conducteurs sont reliés respectivemenl aux deux contacts fixes, l'arrivée du courant se faisant par deux balais s et s' et un troisième balais s''' relié au contact mobile p.

En marche normale, le contact mobile se trouve dans une position quelconque entre les deux plots fixes ; les roues k et l, entraînées par l'arbre moteur, font tourner le distributeur et le magasin dans le même sens et effectuent le bobinage sur le tore ; si la tension du fil devient trop forte, la poulie z est sollicitée dans le sens du mouvement et le contact p venant en prise avec le plot q envoie un courant dans l'électroaimant, lequel engage l'ancre m entre les dents de la roue l, d'où arrêt du magasin et continuation de la rotation du distributeur, lequel détache du fil jusqu'à ce que le contact p venant en prise avec le plot q produise un mouvement inverse de l'ancre immobilisant le distributeur et entraînant le magasin dans le même sens, ce qui retend le fil.

Toutes ces opérations se succèdent très rapidement en ne mettant en jeu à la fois qu'une petite quantité de fil qui se renouvelle sans cesse, évitant ainsi la formation de boucles et les mouvements d'alternance du magasin.

La tension est fournie avec précision par le ressort r et le réglage des contacts fixes dont la distance détermine les limites maximum et minimum de la tension du fil que l'on ne veut pas dépasser. La largeur des plots fixes est prévue pour assurer un contact d'une certaine durée, d'où trois zones ; une zone de mouvement normal, une zone de tension du fil et une zone de relâchement du fil. Afin de donner plus d'élasticité au système, de fondre en quelque sorte ces zones à leurs limites, on utilise, à la place de l'ancre, une fourche à contacts frottants, permettant, grâce à l'inertie des pièces en mouvement, d'immobiliser graduellement le magasin et le distributeur.

Dans certains cas, il est avantageux de donner au distributeur un mouvement de rotation dans le sens du bobinage du fil sur le magasin. On adopte alors la disposition représentée sur les figures 10 et 11. La poulie z agit sur une tige reliée au contact mobile p, lequel peut venir en prise avec un plot fixe q, relié au conducteur périphérique sur lequel appuie le balai s'.

Le courant de la source passe par un électroaimant, les balais et les contacts. Une roue u donne au distributeur un mouvement de rotation, une autre roue v, folle sur l'arbre moteur, permet de donner au magasin un mouvement de rotation beaucoup plus rapide dans le même sens, à condition toutefois qu'elle se trouve en prise avec la roue w, entraînée par l'arbre moteur, tout en pouvant glisser longitudinalement sur celui-ci.

Enfin, un petit moteur électrique l, ou un système à champs tournants, agissant par courants de Foucault, sollicite constamment le magasin à tourner en sens inverse du mouvement donné par la roue motrice v. Le fonctionnement est alors le suivant. Le magasin et le distributeur tournant comme l'indique la flèche, le fil est bobiné sur le tore ; mais comme la vitesse du

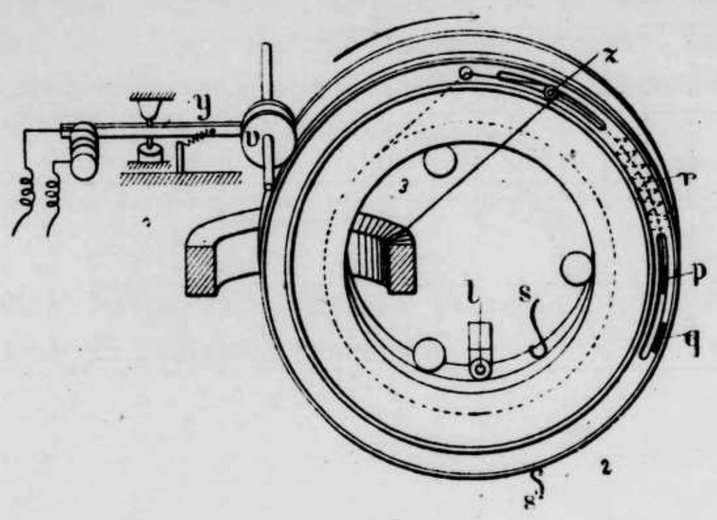


Fig. 10 et 11. — Vues schématiques du dispositif de réglage de tension du fil, le mouvement de rotation étant de même sens que l'enroulement du magasin : l, moteur; p, contact mobile; q, contact fixe ; r, ressort, s et s', balais ; u, v et w, roues de commande ; z, poulie.

magasin est grande, le fil se relâche ; les contacts p et p viennent en prise et l'électroaimant débraye les roues w et v; le moteur l fait tourner le magasin en sens inverse, ce qui tend le fil et rompt les contacts. Les opérations se reproduisent alors sans arrêt. Le ressort r travaille entre des limites réglables et déterminées par la tension que l'on se propose de donner au fil. Si le magasin doit être d'un grand diamètre par rapport au tore, la variation rapide de longueur du brin obligerait à donner au magasin une grande vitesse par rapport au distributeur. Dans ce cas, on dispose un deuxième contact fixe, avec trois balais, comme il a été décrit pour le cas précédent. L'électroaimant effectue alors les opérations suivantes : pour la marche normale correspondant à la position moyenne du contact mobile, la roue u tourne, les roues v et w sont embrayées ; lorsque le fil se relâche, ces roues sont désembrayées et la roue u tourne ; enfin lorsque la tension du fil est trop forte, la roue u est bloquée et les roues v et w, embrayées ; ces deux derniers cas correspondant aux positions extrêmes du contact mobile p.

S. Held,
Ingénieur aux Etablissements Chauvin et Arnoux.

Un système de protection sélective des lignes aériennes à haute tension

Le système de protection sélective qui fait l'objet de cet article et qui a été établi par la Siemens und Halske Aktien-Gesellschaft est basé sur le même principe que les dispositifs à résistance ou à impédance, mais la grandeur qui intervient ici est la réactance d'induction. Le système ne peut avoir quelque efficacité que si le circuit présente une inductance appréciable, dans le cas des lignes aériennes par exemple; il présente sur les dispositifs à impédance l'avantage d'avoir un fonctionnement indépendant de la résistance du circuit du défaut, ce qui a unegrande importance si l'arc de court-circuit est susceptible de présenter une résistance non négligeable. Le principe du dispositif étant posé et la solution adoptée pour l'étalonnement du temps qui assure la sélection étant définie, il est possible de suivre la description détaillée de chacun des relais qui constituent ce système et du fonctionnement de l'ensemble.

I. **Principe du système.** — 1. Comparaison de ce système a celui a impédance et a résistance. — Le système que nous allons décrire de la Siemens und Halske Aktien-Gesellschaft est un système à réactance et basé sur le principe de l'échelonnement du temps. Il appartient, à la même classe que les systèmes de protection à résistance pour lesquels, d'une façon générale, le déclenchement des relais est retardé suivant la résistance de la boucle de ligne comprenant le relais, le point de défaut et le relais ou, en d'autres termes, dans lesquels la durée de déclenchement d'un relais est d'autant plus grande que le défaut est à plus grande distance de ce relais. Tandis que la protection à impédance agit de telle façon que le retard dans le déclenchement soit déterminé par l'impédance de la boucle de ligne mentionnée, y compris celle de l'arc qui a pu se former au point défectueux, la protection par réactance fonctionne de façon que les relais n'obéissent qu'à l'action de la réactance d'induction de la boucle de ligne, donc indépendamment de l'influence de l'arc. De ce fait, résulte déjà une délimitation des champs d'application des deux systèmes. La protection par impédance convient principalement pour les lignes aériennes de tension moyenne dans lesquelles, par suite de la faible distance entre phases et de la forte intensité du courant de court-circuit, la production d'un arc de grande résistance est improbable. Elle convient aussi pour tous les réseaux de câbles, car, dans ce cas, la protection par réactance n'est pas applicable, l'inductance d'un câble étant négligeable. La protection par réactance trouve son application pour les réseaux de lignes aériennes jusqu'aux plus hautes tensions, car les arcs, même de la plus grande résistance, n'influent pas sur le retard dans le déclenchement des relais. On ne peut naturellement fixer une limite rigoureuse de séparation entre les deux champs d'application. Cette limite doit se trouver entre 40 et 60 kv environ. Les deux systèmes de protection se caractérisent encore par les particularités suivantes:

La protection par impédance est en général d'une réalisation plus simple; de plus, les relais d'impédance peuvent généralement être raccordés aux transformateurs de mesure existants (transformateurs à barres ou à boucles par exemple), l'erreur d'angle de phase des transformateurs n'intervenant pas dans le fonctionnement de la protection. Par contre, les transformateurs pour raccordement aux relais de réactance ne doivent présenter qu'une erreur d'angle insignifiante, car seules sont utilisées les composantes réactives du courant et de la tension. En résumé, on peut dire que la préférence doit être donnée à la simple protection par impédance là où la protection par réactance n'est pas absolument nécessaire.

2. Sélection par l'échelonnement du temps. — Tout d'abord, l'expression « échelonnement du temps » demande des éclaircissements. En général, on a coutume, avec les systèmes de protection employés jusqu'à présent, de faire croître le temps de déclenchement des relais proportionnellement à l'éloignement du lieu du défaut. Que les tronçons à protéger soient de longueurs différentes, il peut en résulter des difficultés considérables dans l'établissement des projets si l'on veut éviter absolument des disjonctions intempestives. Si, par exemple, dans une section d'un réseau constitué par trois tronçons AB = 100 km, BC = 20 km, CD = 50 km, on choisit les caractéristiques des relais de façon que le temps de déclenchement à l'extrémité de chaque tronçon atteigne 2 secondes (fig. 1 a), la différence entre le temps de déclenchement des différents relais est alors extrêmement petite. Si un court-circuit se produit au point C, le relais 2 déclenche, par exemple, au bout de 2 secondes; le relais 1, au bout de 2,4 secondes et cette petite différence de 0,4 seconde ne permet nullement d'affirmer, si on considère le temps propre du déclenchement des disjoncteurs dans l'huile, que non seulement en B, mais aussi en A, une disjonction ne puisse se produire. Si l'on admet que toutes les caractéristiques des relais ont la même inclinaison (fig. 1 b) et en tenant compte, pour le tronçon le plus court, BC, de ce que la plus petite différence de temps en cas de court-circuit sur le tronçon CD ne doive pas être inférieure à 1 seconde, on évite naturellement des

différences de temps trop faibles, mais on tombe sur des temps de fonctionnement en réalité considérables, comme, par exemple, d'environ 5 secondes en cas de court-circuit sur le tronçon AB au voisinage de B.

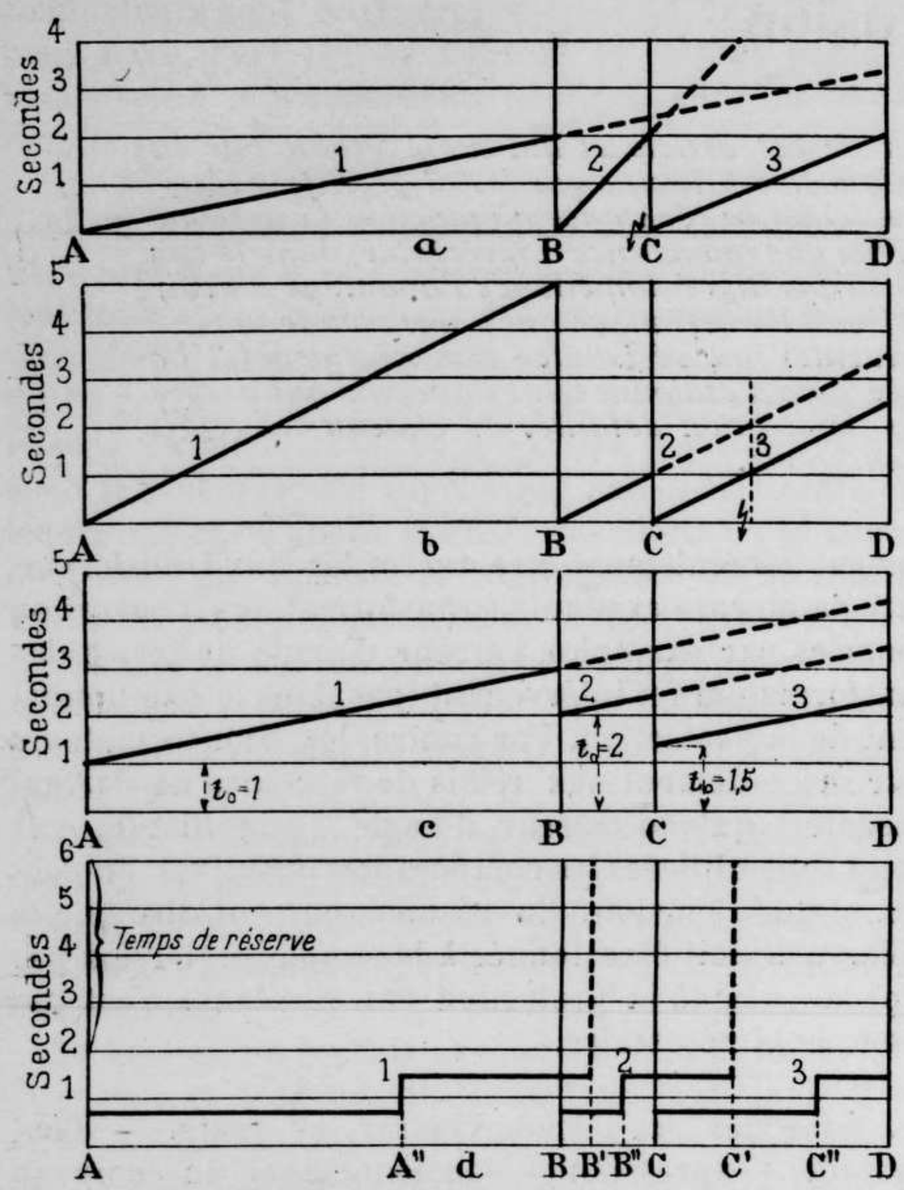


Fig. 1. — Caractéristique des relais à temps des systèmes de protection montés en des points différents d'un même réseau : a, le déclenchement a lieu, pour chaque système, et à l'extrémité de chaque tronçon protégé, après deux secondes; b, les caractéristiques ont toutes la même inclinaison; c, elles ont la même inclinaison, mais des temps de base différents; d, les temps de déclenchement comportent deux valeurs seulement, 0,8 et 1,6 seconde; cette dernière solution est appliquée au système à réactance.

L'application de relais de mêmes caractéristiques peut convenir si l'on donne des temps de base différents aux relais (fig. 1 c). On allonge ainsi dans une certaine mesure les petits tronçons d'une longueur correspondant au temps de base. Ce procédé ne peut cependant être appliqué que si des tronçons longs suivent des tronçons courts, sinon les temps de base seraient dépassés d'une façon excessive. Comparée à ce procédé utilisant des caractéristiques régulièrement ascendantes, la nouvelle protection à réactance emploie des caractéristiques à échelons représentées sur la figure 1 d. Chaque relais possède deux temps de déclenchement, 0,8 et 1,6 seconde, dont la détermination exacte est confiée à un relais à courant continu. Chaque relais contrôle son propre tronçon ainsi qu'un tiers de tronçon suivant. Un court-circuit vient-il à se produire dans les deux premiers tiers du tronçon, le relais déclenche au bout de 0,8 seconde ; si le court-circuit se produit dans le dernier tiers, le relais déclenche au bout de 1,6 seconde. De même, si un défaut se produit dans le premier tiers du tronçon suivant, le relais précédent déclenche au bout de 1,6 seconde, si toutefois le propre relais du tronçon endommagé n'a pas lui-même fonctionné au bout de 0,8 seconde. De plus, grâce à un temps de réserve réglable, on a pris soin qu'en cas de dérangement chaque relais contrôle encore tout le tronçon suivant. Le dispositif de temps de réserve est réglable entre 2 et 6 secondes et assure au bout de ce temps la mise hors circuit du point défectueux, pour tout défaut venant à se produire, même en dehors du tronçon contrôlé, en cas de dérangement du relais ou du disjoncteur du tronçon endommagé. On procède au réglage du temps de réserve conformément au système d'échelonnement en opposition, c'est-à-dire de façon que les temps de déclenchement des relais agissant dans une direction croissent, tandis que ceux des relais agissant dans une direction opposée décroissent. On obtient de cette façon une sélection absolument certaine du tronçon de ligne défectueux. Sur la figure 2 est

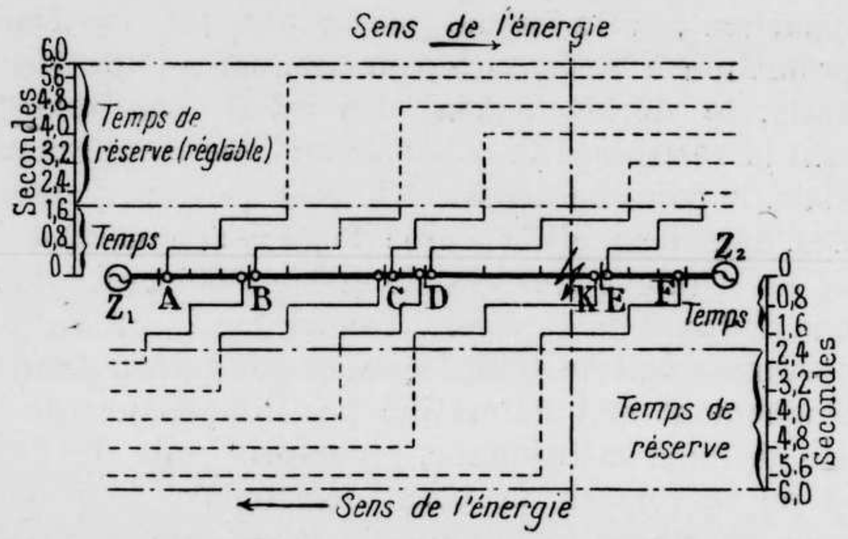


Fig. 2. — Schéma de principe du fonctionnement du système de protection à échelonnement du temps et à réactance montrant l'échelonnement en opposition des temps de réserve.

représenté le schéma de principe du fonctionnement de la protection par échelonnement du temps et par réactance, avec les temps de réserve échelonnés en opposition. Le tracé donne pour tout point défectueux et pour chaque direction de l'énergie le temps de déclenchement.

II. **Description du système.** — 1. Généralités. — Dans le système de protection par échelonnement du temps et à réactance dont il est question ici, les différentes fonctions sont confiées à plusieurs organes séparés les uns des autres. Un relais excitateur annonce le fait qu'un court-circuit vient de se produire et met en service un relais à temps à échelonnement. Celui-ci relie à son tour un relais directionnel avec un relais à réactance. Le court-circuit s'est-il produit dans les deux premiers tiers du tronçon contrôlé, les actions combinées du relais à temps et du relais à réactance suffisent pour actionner le disjoncteur dans l'huile au bout de 0,8 seconde. Si le court-circuit s'est produit dans le

dernier tiers du tronçon contrôlé ou bien dans le premier tiers du tronçon suivant, c'est-à-dire dans la zone correspondant à 1,6 seconde pour le fonctionnement du relais à temps, le circuit de commande du disjoncteur est fermé par le jeu des différents relais au bout de 1,6 seconde seulement. Si le défaut est encore plus éloigné, alors intervient le dispositif du temps de réserve.

2. Le relais d'excitation. — Il est conçu de telle façon qu'il fonctionne pour des intensités du courant de court-circuit même plus petites que l'intensité minimum du courant d'exploitation et cela, en utilisant le fait qu'au moment du court-circuit l'impédance de la ligne en exploitation normale tombe brusquement à la valeur plus faible de l'impédance de court-circuit. Il comporte, agissant en série pour chaque phase, une bobine en série et une bobine en dérivation (fig. 3). Le contact de la première est établi pour un courant de

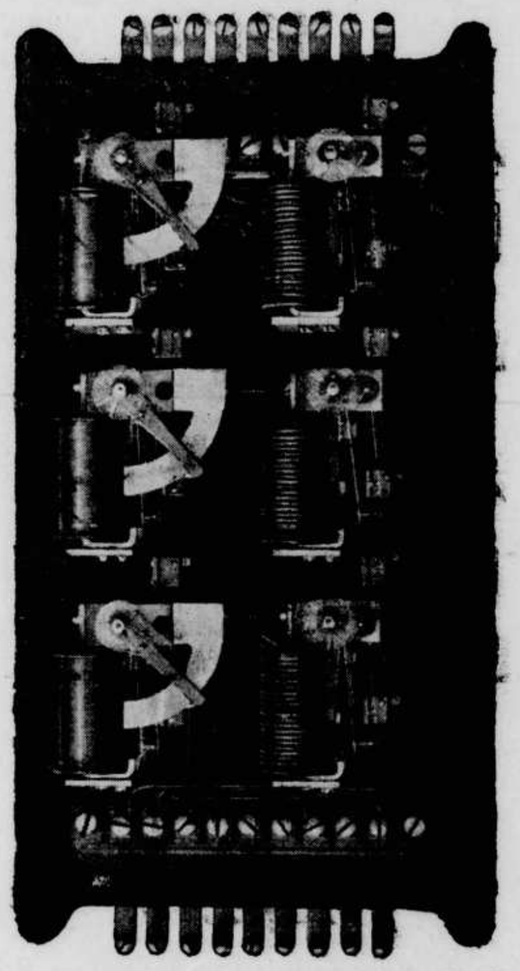


Fig. 3. — Vue du relais d'excitation.

secondaire de transformateur égal à 1 A, celui de la seconde pour une tension d'environ 70 V. On obtient de cette façon une caractéristique d'excitation donnant un fonctionnement certain, même en cas d'arc présentant une résistance élevée.

3. Le relais a temps a échelonnement. — Ce relais (fig. 4 et 5) comporte un électroaimant A qui actionne un premier mouvement d'horlogerie entraînant parallèlement par son fonctionnement les contacts mobiles e et f. Ces contacts mobiles atteignent au bout d'intervalles de temps différents, et dont les valeurs sont indiquées sur la figure 5, leurs contre-contacts. Un second mouvement d'horlogerie, également mis en action, ne continue à fonctionner après 0,8 seconde que si l'électroaimant d'un loquet magnétique B est excité. Si, par contre, ce loquet n'est pas excité, les plots ff' viennent en contact au bout de 0,9 seconde et donnent l'impulsion grâce à laquelle les plots ee' viennent, après un intervalle de temps de 1,6 seconde, pour la deuxième fois en contact; à ce moment, se produit l'immobilisation définitive du second mouvement d'horlogerie. De son côté, le premier mouvement d'horlogerie continue à

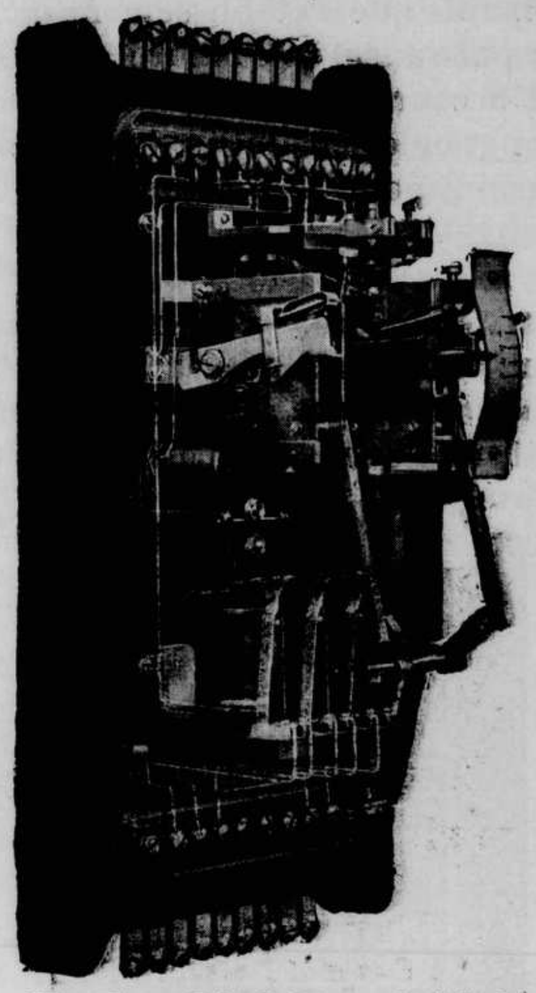


Fig. 4. — Vue du relais à temps à échelonnement.

fonctionner jusqu'à ce qu'il amène en contact les plots gg', si toutefois le courant de l'électroaimant n'a pas été coupé auparavant. Au moment de la coupure du courant de l'électroaimant A, tous les contacts revien-

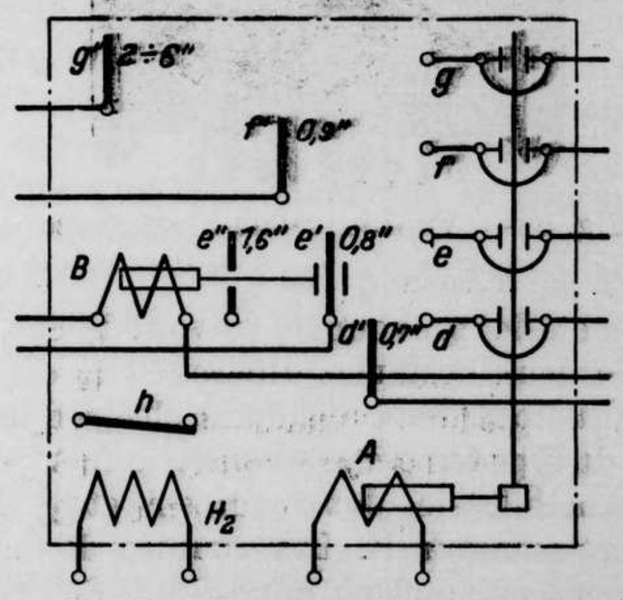


Fig. 5. — Schéma des connexions du relais à temps à échelonnement.

nent à leur position initiale. Le premier mouvement d'horlogerie comporte encore un index entraîné qui permet de reconnaître la durée du temps pendant lequel ce mouvement d'horlogerie a fonctionné.

4. Le relais directionnel. — Son fonctionnement est basé sur le principe dynamométrique; il est constitué

par trois systèmes couplés entre eux de façon que, les couples de torsion s'ajoutant constamment les uns aux autres, la sensibilité soit considérablement accrue. De plus, en vue d'accroître encore la sensibilité, la partie mobile ne comporte aucun contact proprement dit, mais seulement une plaquette isolante qui, suivant la direction de l'énergie, vient s'interposer, ou non, entre les contacts, tandis que l'établissement même du contact à grande puissance de coupure est assuré par un électroaimant à courant continu à excitation séparée. Par suite de sa grande sensibilité, la consommation en énergie nécessaire pour le fonctionnement directionnel est faible.

5. Le relais a réactance. — Ce relais (fig. 6 et 7) a pour fonction de déterminer si la réactance de la boucle de ligne formée par le relais, le lieu du défaut et le relais est inférieure ou supérieure à une valeur

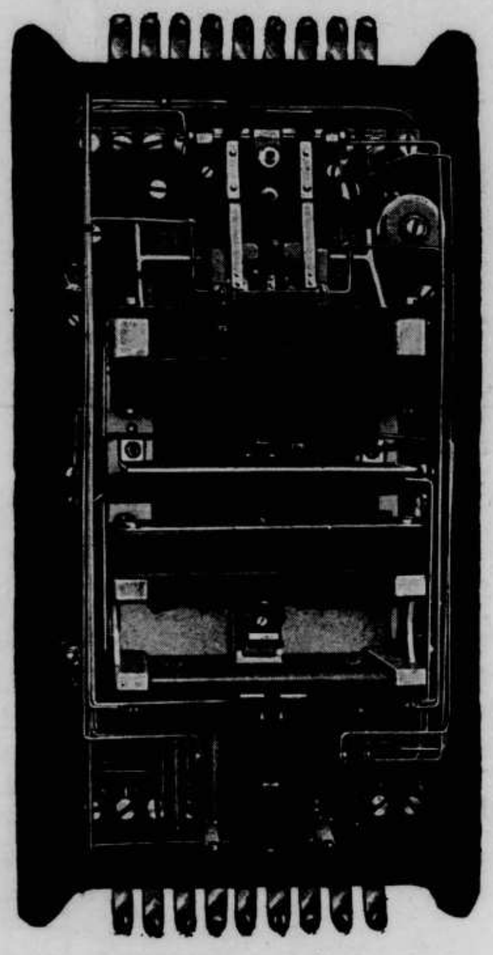


Fig. 6. — Vue du relais à réactance.

déterminée et de provoquer, suivant le cas, l'entrée en action de deux systèmes différents de connexions. Il est constitué par deux systèmes électrodynamiques identiques du type ferro-dynamométrique A_1 et A_2 dont les organes mobiles, les deux cadres r_1 et r_2, sont fixés sur un arbre commun B. Les couples de torsion des deux systèmes agissent en opposition. Ce résultat est obtenu par le fait que r_1 est alimenté par le secondaire d'un transformateur de courant intermédiaire T, tandis que r_2 est traversé par un courant proportionnel à la tension *E*, mais déphasé de 90° par un dispositif de connexions spéciales. Une aiguille g est montée folle sur l'arbre, mais entraînée par une paire de ressorts plats d solidaires de l'arbre. Un bras e, également solidaire de l'arbre, est limité des deux côtés dans ses déplacements par des jeux de ressorts plats a, b, c, tandis que h_1 et h_2 représentent des butées fixes de l'aiguille g. Cette aiguille porte à son extrémité une plaquette légère en pertinax, qui, suivant le sens du déplacement de l'aiguille, vient s'interposer entre les contacts k_1 et k_3 pour une rotation à gauche, entre les contacts k_2 et k_4 pour une rotation à droite, en avant de l'armature Z d'un électroaimant à courant continu. Celui-ci lorsqu'il est excité, presse l'un contre l'autre ces contacts, de sorte que, suivant la position prise par l'aiguille, les contacts k_1 et k_3 ou bien k_2 et k_4 sont reliés entre eux. La pièce isolante dentée U saisit, au moment où l'électroaimant est actionné, la pointe de l'aiguille; celle-ci se trouve ainsi immobilisée et n'est

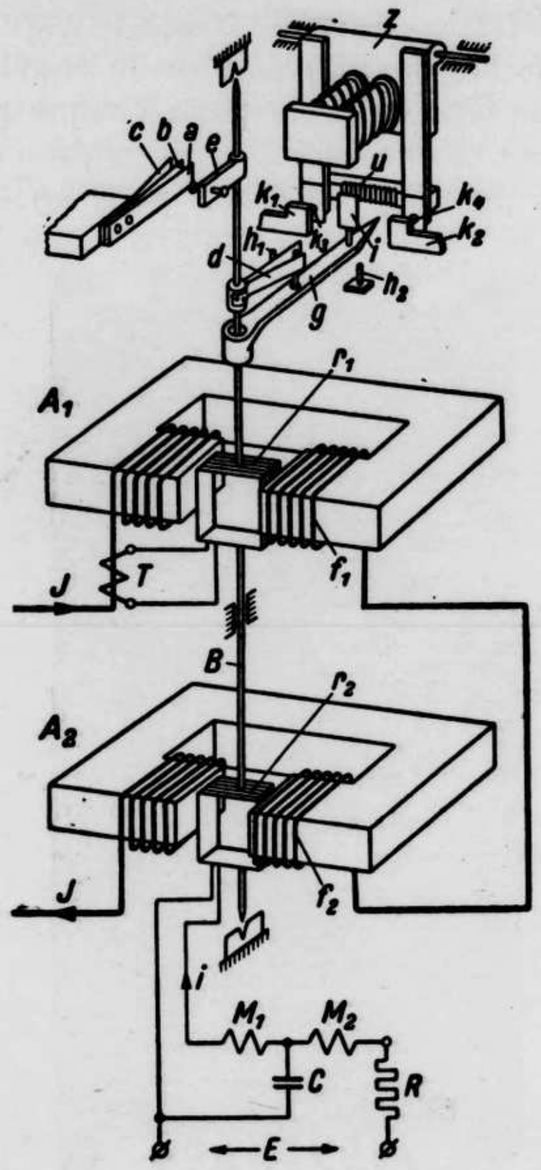


Fig. 7. — Croquis schématique du relais à réactance.

plus sous la dépendance des changements ultérieurs de la direction de l'énergie. En résumé, par les caractéristiques de sa construction, le relais de réactance possède les propriétés suivantes. Il fonctionne avec grande facilité, principalement parce que l'aiguille n'a aucun contact à établir et il agit dans des limites très étendues du courant de court-circuit : d'une part, la libre rotation de son arbre, qui n'est soumis à aucune force antagoniste, lui permet d'atteindre une limite inférieure très basse; d'autre part, l'emploi de divers ressorts convenablement dimensionnés porte très loin la limite supérieure. Ce système peut supporter toutes les intensités de courant grâce à des sections suffisantes du fer des deux champs inducteurs entièrement semblables dans leurs dimensions et son fonctionnement est rendu indépendant de la valeur de la résis-

tance de l'arc, par une disposition convenable des connexions. La faible durée du temps que met l'organe mobile à prendre sa position permet d'obtenir les retards plus courts dans la disjonction.

6. Fonctionnement de l'ensemble du système. — Le processus complet de fonctionnement de la protection par échelonnement du temps et par réactance est représenté sur les deux schémas de la figure 8 ; le premier, celui de gauche, montre les connexions en courant continu et le

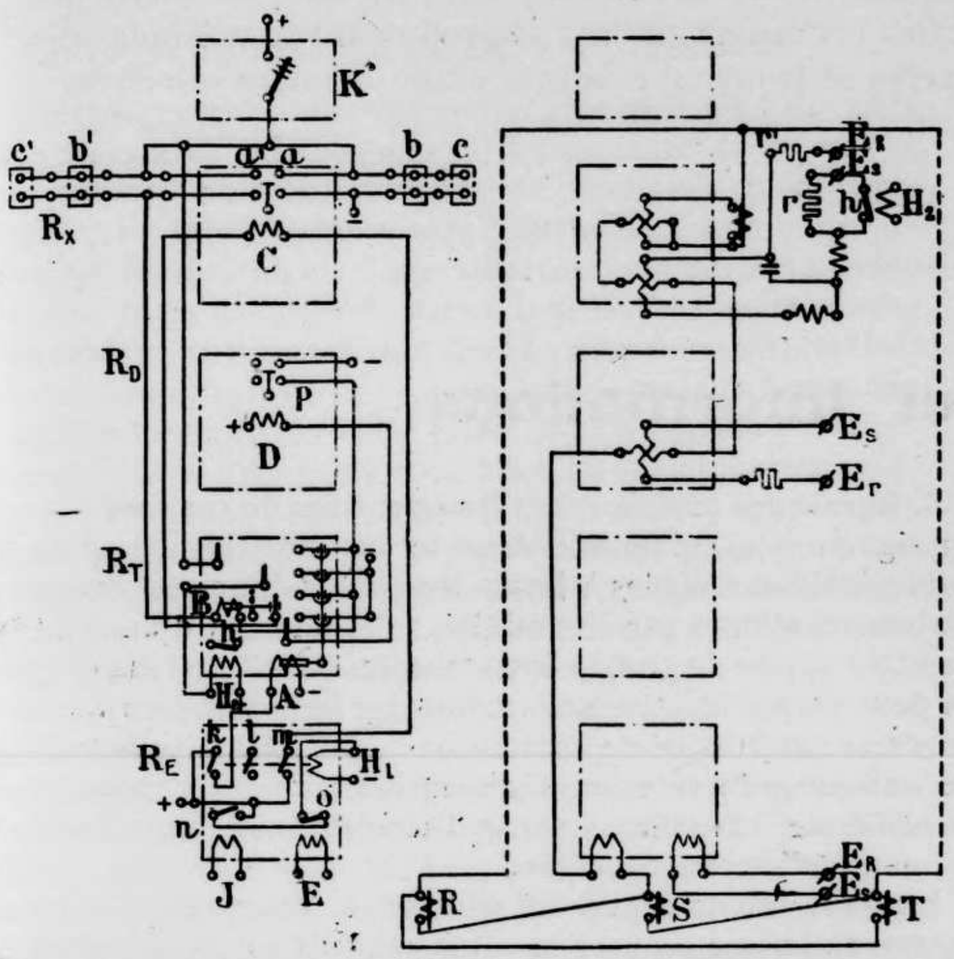


Fig. 8. — Schémas unifilaires des connexions du système de protection à réactance : 1, circuits à courant continu ; 2, circuits à courant alternatif ; K, disjoncteur ; R_D, relais directionnel ; R_E, relais d'excitation ; R_T, relais à temps ; R_X, relais à réactance.

deuxième, celui des connexions en courant triphasé, le schéma étant unipolaire dans les deux cas. Au moment d'un court-circuit, les relais excitateurs ferment leurs contacts n et o et actionnent ainsi, par l'intermédiaire des relais auxiliaires H_1, les contacts tels que m, l, k. Les contacts l mettent sous tension les relais de réactance qui peuvent alors prendre leur position de fonctionnement. Les contacts m sont des contacts préparant l'entrée en service des électroaimants C des relais de réactance. Les contacts k actionnent l'électroaimant A du relais à temps. La fermeture du contact « 0,7 seconde » assure celle du circuit de l'électroaimant du relais directionnel qui remplit la même fonction que l'électroaimant du relais de réactance, c'est-à-dire qui, suivant le sens de la rotation de l'aiguille, réalise l'établissement de contacts différents.

Si la direction de l'énergie est telle qu'elle ne corresponde pas à un court-circuit, la plaquette isolante est amenée entre les contacts p ; dans ce cas, le mouvement d'horlogerie continue à fonctionner sans aucun effet. Si, par contre, la plaquette isolante laisse libre l'établissement des contacts p, la fermeture, au bout de 0,8 seconde, du contact portant la désignation « 0,8 seconde » provoque l'excitation de l'électroaimant C du relais à réactance dont le relais excitateur et le relais auxiliaire H_1 ont fonctionné. Les relais à réactance sont d'abord réglés sur la plus petite valeur de la réactance. Aussi, quand le défaut porte sur les deux premiers tiers du tronçon contrôlé, la plaquette isolante laisse libres les contacts a, qui sont connectés en parallèle avec les contacts b et c des deux autres relais à réactance, et le disjoncteur dans l'huile déclenche au bout de 0,8 seconde. Si, par contre, le défaut est situé au delà des deux premiers tiers, la plaquette laisse libres les contacts a et le loquet B est excité, le courant d'excitation passant par la bobine de déclenchement du disjoncteur dans l'huile, mais, sous une intensité de courant trop faible pour provoquer le fonctionnement du disjoncteur. L'excitation du loquet B provoque l'ouverture du contact « 0,8 seconde », ce qui désexcite l'électroaimant C du relais à réactance dont l'armature revient à sa position initiale. Au bout de 0,9 seconde, le relais auxiliaire H_2, logé dans le relais à temps, est excité et ouvre le contact h, ce qui détermine une modification du réglage du relais de réactance. Au bout de 1,6 seconde l'électroaimant est de nouveau excité et, si la position du défaut se trouve dans le champ qui correspond à ce temps de fonctionnement, le disjoncteur déclenche. Si le défaut est situé à une distance encore plus grande le fonctionnement des contacts a, b, c, est de nouveau empêché ; le loquet est excité encore une fois, sans produire aucune action, car le mouvement d'horlogerie est déjà arrivé au terme de son fonctionnement. Le premier mouvement d'horlogerie continue cependant à fonctionner et fait déclencher le disjoncteur au bout de 2 à 6 secondes suivant le réglage du temps de réserve si, auparavant, le court-circuit n'a pas été éliminé par le fonctionnement d'un autre relais.

En ce qui concerne les connexions en courant triphasé, les enroulements secondaires des trois transformateurs de courant reliés aux phases R, S, T, sont connectés en triangle et les circuits en série des trois relais, en étoile. Les circuits en dérivation du relais directionnel sont raccordés en ES et en ET, c'est-à-dire entre les phases E et S et entre les phases E et T. Le schéma des connexions des autres relais du groupe tant pour les circuits en série que pour les circuits en dérivation se détermine facilement par une permutation circulaire. Le relais auxiliaire H_2, lorsqu'il est excité, supprime dans le circuit en dérivation la résistance r, ce qui produit le changement de réglage du relais à réactance. D'une façon générale, on peut dire que la disposition choisie pour les circuits en série évite l'influence de l'intensité du courant de charge sur la valeur de la réactance, ainsi que cela pourrait se produire si l'on procédait comme dans le cas de la mesure de résistances avec des circuits en série et des circuits en dérivation montés en étoile.

III. Conclusion. — Nous remarquerons d'abord que la séparation des différentes fonctions électriques et mécaniques facilite l'adaptation de la conception et de la construction de chaque organe du système à sa fonction. Le système à réactance se distingue surtout par une heureuse disposition de principe, étant en fait uniquement destiné à la mesure de la réactance; il est extrêmement exact et a un champ d'action sur une grande étendue de valeurs de courant de court-circuit, dans la limite de 1 à 60. Les avantages tenant à ce principe sont augmentés par la solution adoptée pour les couplages des circuits triphasés. La constitution du relais à temps garantit une différence de temps minimum de 0,8 seconde, tandis qu'en cas de dérangement des autres relais ou disjoncteurs, un temps de réserve de 2 à 6 secondes peut encore entrer en jeu. L'index entraîné indique le temps de disjonction et permet de localiser approximativement l'endroit du défaut. La consommation d'énergie du dispositif de protection est très petite, de sorte que des transformateurs de mesure de puissance normale suffisent. La séparation des éléments en série et en dérivation des relais excitateurs assure un fonctionnement certain, même dans le cas d'un courant de court-circuit de faible intensité. Le relais directionnel tripolaire à éléments couplés donne au système une très grande sensibilité au sens de la circulation de l'énergie, de sorte que même les courts-circuits se produisant au voisinage des barres se trouvent éliminés d'une manière sélective.

L. Triau,
Ingénieur E. S. E.

Revues, analyses et informations

Effets de la pénétration de l'eau dans les câbles de transmission d'énergie à enveloppe de plomb (1).

1. Introduction. — Au cours de la fabrication des câbles souterrains destinés à la transmission de l'énergie, il est de pratique courante en Grande-Bretagne, conformément aux British Standards Specifications, de les immerger pendant quelque temps avant leur imprégnation et la pose de l'armure et de procéder ensuite aux essais de rigidité diélectrique. L'immersion a le double avantage de vérifier si l'enveloppe de plomb est saine et de maintenir dans l'ensemble une température uniforme essentielle pour l'exactitude des mesures électriques. Toutefois, pour les câbles à haute tension comportant dans leur isolement du papier imprégné, cette immersion serait plutôt dangereuse, car l'eau peut pénétrer à travers le plomb, sans que sa présence puisse être décelée aux essais, et se trouver occluse dans le câble après sa construction.

2. Recherches expérimentales. — L'auteur rapporte les résultats d'essais qui furent entrepris sur des échantillons de câble de différentes épaisseurs d'isolant et dont l'enveloppe de plomb avait été piquée jusqu'à la couche extérieure de l'isolant. Les échantillons avaient environ six pieds de longueur (18,25 cm): l'une de leurs extrémités était obturée par une calotte de plomb remplie de compound d'imprégnation et l'autre, dénudée en vue de l'essai. Des dispositions étaient prises pour placer les échantillons dans un tube à pression d'eau de manière à effectuer les essais sous pression variable et de diminuer le temps nécessaire pour obtenir la disrupture. La mesure de la résistance d'isolement était faite en courant continu et celle de la tension disruptive, en courant alternatif à 50 p : s.

Pour chaque échantillon et pour une pression donnée on relevait périodiquement la résistance d'isolement. On notait également le temps et la tension alternative disruptive. Les résultats de ces essais sont consignés dans l'article sous forme de tableaux et de courbes.

3. Remarques générales. — On peut tirer de ces essais les enseignements suivants : dans le cas d'un isolement de faible épaisseur (câbles à basse tension), celui-ci est immédiatement affecté par l'humidité ; dans le cas d'un isolement au papier de grande épaisseur, le défaut de l'enveloppe peut ne pas être décelé à moins que la perforation ne se produise dans l'essai de surtension : il est alors préférable de s'abstenir de cet essai d'immersion pour cette catégorie de câble, car il peut être la cause d'accidents ultérieurs, après la mise en service du câble.

L'auteur indique qu'il est nécessaire, pour effectuer les essais, de laisser reposer le câble pendant au moins trente heures après la mise en place de l'enveloppe, afin qu'il prenne en tous ses points la température ambiante; mais ce chiffre ne constitue qu'une valeur moyenne, du fait que le refroidissement dépend de la longueur et de la grosseur du câble ainsi que des dimensions du tambour sur lequel il est enroulé; cette période de repos avant l'essai dépend encore de la précision qu'on désire obtenir dans les mesures. Il faut également remarquer que, bien que les résultats des essais de surtension ne soient pas affectés par les conditions de température, il est rare toutefois, que les mesures de résistance et de capacité puissent être exécutées dans des conditions satisfaisantes moins de 24 heures après la mise sous gaine.

Une durée appréciable est nécessaire pour que la température du tambour atteigne une valeur constante et en raison des variations de température ambiante susceptibles de se produire durant cette période, l'auteur estime qu'il est douteux que la température puisse être connue à moins d'un degré près. Toutefois, les essais dans un atelier ouvert permettant d'obtenir des résultats satisfaisants aux limites de tolérance requises dans la pratique courante, l'auteur est d'avis qu'il n'y a pas lieu de considérer comme indispensable la méthode d'immersion des câbles, en particulier dans le cas des câbles à haute tension, où cette méthode est à prohiber. Néanmoins, dans des cas particuliers où il existe des doutes au sujet des résultats d'essais, on peut appliquer la méthode d'immersion à un certain nombre de tambours d'un lot, ce qui diminue quelque peu les risques de défauts possibles dans la gaine de plomb. — M. R.

(1) E.-A. Bravis: *Journal of the Institution of electrical Engineers*, avril 1930, t. LXVIII, p. 434-440, 2 200 mots, 6 figures, 3 tableaux.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Revues, analyses et informations

La réglementation du titre d'ingénieur (1).

1. Introduction. — On sait qu'en France le port du titre d'ingénieur n'est pas réglementé à l'encontre de ce qui se passe dans les carrières médicales et juridiques où les titres ne peuvent être conférés qu'officiellement à la suite de sanctions réglementées. Cette situation, qui permet à toute personne de se décerner le titre d'ingénieur, n'est pas sans inconvénient et donne lieu à des abus parfois regrettables. C'est pourquoi, à plusieurs reprises, des organismes qualifiés se sont préoccupés de cette question. La Société des Ingénieurs civils de France, en particulier, l'a examinée dès 1922, sous la présidence de M. Laubeuf. Cette année, sous la présidence de M. Monteil, elle l'a délibérément prise en mains et elle a consacré une séance entière à l'exposé des divers points de vue sous lesquels on peut l'envisager sans, toutefois, ouvrir une discussion publique sur le sujet.

Dans cette séance, qui se tint le 2 mai 1930, la Société des Ingénieurs civils de France a, en effet, reçu la Fédération des Associations, Sociétés et Syndicats français d'Ingénieurs, qui a particulièrement étudié la réglementation du titre d'ingénieur. En présence de M. Luc, sous-directeur de l'Enseignement technique et de M. Gabelle, directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, les conférenciers suivants ont pris la parole : M. Chatelet, recteur de l'Université de Lille; M. Foillard, vice-président de la Fédération des Associations, Sociétés et Syndicats français d'Ingénieurs; M. Guillet, directeur de l'Ecole centrale des Arts et Manufactures; M. Liouville, président du Syndicat Union sociale d'Ingénieurs catholiques; M. Vandier, ancien président de l'Association des Ingénieurs de l'Institut industriel du Nord de la France. En dernier lieu M. Monteil, président de la Fédération des Associations, Sociétés et Syndicats français d'Ingénieurs, a précisé certains points particuliers et Me Bloch, avocat-conseil de celle-ci a examiné le point de vue juridique.

En raison de l'intérêt tout particulier qui s'attache à cette question, nous avons cru utile sinon de reproduire ces différents exposés, du moins de donner ci-après une analyse de chacun d'eux.

2. Conférence de M. Chatelet. — Le conférencier a d'abord montré que la centralisation résultant du remplacement, à la suite de la Révolution, des anciennes universités françaises par les facultés, avait eu l'avantage de donner une protection légale aux grades et aux diplômes décernés par elles, mais qu'elle avait eu l'inconvénient d'empêcher ces mêmes facultés de s'évader des programmes officiels et de s'intéresser, comme le faisaient de nombreuses universités étrangères, aux arts, à l'industrie, au commerce et aux sciences sociales.

L'enseignement de ces diverses questions était néanmoins indispensable dans notre pays, et cette situation a amené la création, un peu au hasard des circonstances, de nombreuses écoles spéciales officielles ou privées. Les diplômes se sont multipliés, avec un contrôle plus ou moins sévère et une défense du titre de plus en plus inexistante.

En 1896, les anciennes universités ayant été rétablies, avec leur autonomie financière et morale, elles en ont profité pour étendre leur action dans les deux domaines, en réalité comparables, de la recherche et de l'enseignement. D'une part, elles ont créé des instituts (Nancy, Toulouse, Lille, Marseille, etc.) et, d'autre part, elles se sont orientées progressivement vers une collaboration de plus en plus étroite avec les écoles ou œuvres d'enseignement technique supérieur.

Dans le domaine de l'électrotechnique en particulier, on sait que l'Ecole supérieure d'Electricité, dont le rôle s'affirme chaque jour, a eu son origine dans l'Institut électrotechnique de Grenoble; elle a, d'autre part, des relations bien connues avec la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Selon le conférencier, la principale raison d'être de la collaboration des universités et de l'enseignement technique se trouve dans la nécessité d'étayer toutes les études spécialisées par une vaste culture générale. Ces études comprennent alors trois parties :

Un enseignement secondaire sanctionné par le baccalauréat ou une équivalence véritable;

Un enseignement préparatoire aux grandes écoles, sanctionné actuellement par le concours d'entrée ;

Un enseignement supérieur dans les facultés et les grandes écoles, sanctionné par le diplôme de sortie.

De ces considérations M. Chatelet conclut que « s'il y a lieu de réglementer le titre d'ingénieur et la préparation de cette carrière, le rôle et l'initiative la plus large devront être laissés aux universités, tant pour leurs créations personnelles que pour les relations qu'elles pourraient réaliser avec des écoles ou des organismes anciens ou nouveaux, et il faudra leur faire largement appel pour l'organisation des diplômes et examens ».

La réglementation pourrait être obtenue par une certaine unification des examens d'entrée et des enseignements préparatoires et généraux (mécanique, physique, chimie, dessin, comptabilité et atelier).

Par ailleurs, la liberté devrait être laissée aux études spécialisées, aux diverses techniques et à l'indication complémentaire de l'origine et de la spécialisation pour chaque titre d'ingénieur. Enfin, une part de considération plus grande devrait être faite à l'aptitude aux recherches originales.

3. Conférence de M. Foillard. — M. Foillard examine la question au point de vue de la situation des autodidactes qui forment, dit-il, un corps important et dont la situation mérite d'être examinée, car il s'agit de sujets qui sont arrivés, avec des moyens réduits et dans des conditions parfois

(1) *Procès-verbal de la Société des Ingénieurs civils de France*, séance du 2 mai 1930, p. 216-251, 18000 mots.

difficiles, à acquérir un important bagage de connaissances qu'aucun diplôme ne consacre.

Le nombre des ingénieurs français autodidactes est assez difficile à évaluer. Toutefois la proportion de ces ingénieurs paraît être de 15 à 30 pour 100, le premier chiffre correspondant plutôt aux postes supérieurs et le second, aux postes inférieurs.

Ces ingénieurs se recrutent et se forment de façons très diverses que l'on peut cependant ramener à deux cas :

a) Les uns, naturellement orientés vers cette carrière, n'ont pu, pour des raisons diverses, suivre les cours des écoles et ont travaillé chez eux ;

b) les autres ont été conduits peu à peu par les circonstances à s'adapter aux emplois techniques et se sont formés par la pratique industrielle ; pour la plupart ils ont dû, après s'être spécialisés dans une branche de la technique, compléter leurs connaissances générales devenues insuffisantes par un travail personnel parfois très ardu.

En raison du nombre d'ingénieurs formés par les écoles techniques, il ne paraît pas désirable de chercher à développer le recrutement des ingénieurs autodidactes ; mais, par contre, il est recommandable de favoriser la formation (dans des écoles) de jeunes gens ayant fait preuve d'aptitudes exceptionnelles et de les protéger par un diplôme, les conditions de la délivrance de celui-ci devant différer selon qu'il s'agit d'un technicien rentrant dans l'un ou l'autre cas énuméré ci-dessus.

Pour les premiers, elle serait subordonnée à un examen qui pourrait porter, d'une part, sur les connaissances générales et, d'autre part, sur la ou les spécialités choisies.

Pour les seconds, il s'agit de constater un état de fait. C'est pourquoi il n'y aurait pas d'examen sur programme et le jury aurait à se prononcer sur le candidat d'après l'importance des fonctions effectivement remplies, les travaux contrôlés ou dirigés et les travaux personnels effectués.

Les autres conditions imposées seraient un temps minimum de pratique industrielle, 10 années par exemple, et un minimum d'âge que le conférencier fixe à 30 ou 35 ans.

Pour délivrer de tels diplômes, il semble que notre Conservatoire national des Arts et Métiers soit tout indiqué. Quant au qualificatif qui pourrait leur être donné, on peut en envisager plusieurs, tel que celui d'ingénieur diplômé des Travaux industriels. Ce titre serait suivi de la désignation de la spécialité : mécanique, électricité, génie civil... pour laquelle le diplôme aurait été délivré.

Il convient de signaler que les idées exposées par M. Foillard sur la question des ingénieurs autodidactes, sont celles de la Fédération des Associations, Sociétés et Syndicats français d'Ingénieurs.

4. Conférence de M. Vandier. — M. Vandier propose de ne rien détruire de ce qui existe, toutes les écoles ayant leurs qualités et leurs défauts, et toutes, telles qu'elles sont, ayant rendu des services à notre pays.

Il convient, cependant, de préparer l'avenir et de mettre un frein à la tendance, de plus en plus accentuée, de faire reconnaître par l'Etat le diplôme de sortie des écoles techniques de toutes catégories. Ces autorisations se sont développées depuis une vingtaine d'années dans des proportions considérables et il importe d'éviter, dans l'avenir, la création d'un trop grand nombre d'écoles ayant des programmes très différents et conférant toutes le même diplôme d'ingénieur. Ce n'est pas la reconnaissance par l'Etat qui suffit pour attribuer la même valeur à ces diplômes. D'après M. Vandier, le problème ne peut être résolu que par la création d'un diplôme d'Etat.

« L'ingénieur diplômé par l'Etat serait, dit-il, à côté des autres, celui qui représenterait la conception moderne de l'ingénieur. Pour sa formation l'Etat bâtirait sur un terrain vierge et serait, par suite, libéré de toute entrave.

» L'Etat dirait : je ne veux plus accorder dorénavant à une école quelle qu'elle soit l'autorisation de délivrer des diplômes d'ingénieur ; mais, en même temps, j'organise des jurys d'examen devant lesquels tout honnête homme pourra se présenter en vue d'en subir les épreuves. »

Le conférencier examine ensuite quel devrait être le programme des épreuves : 1° connaissances générales, parmi lesquelles celle de la langue française à laquelle on n'accorde pas encore assez d'importance ; 2° connaissances pratiques, celle-ci étant définies comme étant les connaissances qui permettent de savoir *comment se fait* un travail manuel et en même temps de conduire des hommes et de pouvoir organiser un bureau, un atelier, une maison de commerce. Comme les connaissances pratiques ainsi définies ne s'acquièrent pas à l'école, il faudrait, selon M. Vandier, exiger du candidat un stage de plusieurs années dans les affaires, ce stage étant établi entre les deux séries d'épreuves mentionnées ci-dessus.

L'établissement d'un tel diplôme d'Etat aurait pour conséquence d'ouvrir largement les portes de l'industrie aux autodidactes qualifiés, aux étudiants qui, faute d'orientation bien définie, aboutissent trop souvent à des situations où ils gaspillent sans profit le savoir qu'ils ont acquis et enfin aux professeurs de nos universités.

En résumé, cette conception conduit à prendre là où elles se trouvent les valeurs dont l'industrie a besoin. Peu importe le nombre des écoles et des instituts de préparation, ainsi que la manière dont ils seraient administrés, si le diplôme définitif était donné d'après des bases bien définies et pareilles pour tous les candidats.

5. Conférence de M. Liouville. — M. Liouville envisage plus spécialement le cas des ingénieurs diplômés des écoles privées. Il rappelle le vœu que le Conseil supérieur de l'Enseignement technique avait émis en décembre 1922 :

1° Qu'un projet de loi soit déposé pour décider que toute école ayant pour but de former des ingénieurs à culture scientifique générale ou spécialisée pourra faire enregistrer au Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique le titre sous lequel seront dénommés ses élèves pourvus du diplôme d'ingénieur, ce titre devant faire clairement ressortir le degré d'enseignement technique qu'ils ont reçu.

2° Que le Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique, sans avoir le droit de refuser l'enregistrement d'un titre qui lui est soumis, ait le pouvoir d'exiger les modifications nécessaires de ce titre pour éviter toute confusion ou ambiguïté.

Ce vœu paraissait bien répondre aux préoccupations actuelles des ingénieurs puisqu'il met chacun à sa place.

« L'ordre des ingénieurs n'existant pas, dit M. Liouville, l'Etat paraît être seul qualifié pour présider à cette réglementation. » Toutefois la reconnaissance d'une école par l'Etat ne suffit pas, car, sur soixante-six écoles entrant dans cette catégorie, vingt-six seulement ont été considérées (en ce qui concerne la taxe d'apprentissage) comme formant des cadres supérieurs. D'autre part, la reconnaissance par l'Etat entraîne un certain contrôle de la direction auquel plus d'une école ne voudra se soumettre.

Aussi le conférencier pense-t-il qu'il n'y a pas avantage à abuser de l'intervention de l'Etat. Il pense que les écoles devraient pouvoir être autorisées à délivrer des diplômes d'ingénieur après avis favorable d'une commission spéciale

comportant parmi ses membres des professeurs, des ingénieurs et des employeurs délégués par leurs organisations professionnelles.

Au cas où les circonstances l'exigeraient, un nouveau contrôle permettrait de s'assurer que les conditions satisfaisantes constatées par la commission continuent à être remplies. Si elles cessaient de l'être, le retrait de l'autorisation aurait lieu aussitôt.

En résumé, le conférencier demande à côté de la défense du titre d'ingénieur, celle des divers titres conservant entre eux leur valeur absolue et leur valeur relative; il désire que la liberté de l'enseignement technique ne subisse de ce fait aucune entrave, mais que le droit de délivrer les diplômes soit subordonné à la décision et au contrôle d'une commission créée à cet effet.

6. Conférence de M. Guillet. — En ce qui concerne le titre, M. Guillet admet les trois points suivants :

1° Le titre d'ingénieur n'a de signification que s'il est suivi d'une dénomination précise indiquant l'école qui l'a délivré;

2° Pour les autodidactes, il appartient à une commission compétente et indépendante de leur donner, d'après les fonctions occupées et surtout d'après les travaux effectués, la consécration d'un titre qu'il faudra d'ailleurs préciser;

3° Une loi doit régir l'usage du titre d'ingénieur, à l'instar de ce qui existe pour quelques autres professions.

En ce qui concerne la formation, il croit qu'un programme minimum doit être exigé, programme qui peut d'ailleurs dépendre de la spécialisation. Comme M. Henry Le Chatelier, il pense que la meilleure culture générale est donnée par les vieilles humanités françaises. Mais à cette culture générale doit s'ajouter une culture générale professionnelle qui, elle aussi, a une importance de premier ordre et une formation professionnelle spécialisée dont la plus grande partie se fait à l'atelier ou au laboratoire.

Dans cette formation de l'ingénieur, M. Guillet distingue :

Avant tout, la culture morale, qui n'est pas en dépendance directe de l'école même;

Ensuite, la culture générale, telle que doit la donner l'enseignement secondaire ;

Puis, la culture générale professionnelle à forte base scientifique et « à étude des facteurs communs »;

Enfin, la culture professionnelle spécialisée, qui doit être assez limitée et se faire en grande partie dans l'usine et sur le chantier.

Un tel programme entraîne de longues études et on peut lui reprocher de ne pas donner des gens immédiatement utilisables. Cependant leur rendement sera d'autant plus élevé et plus rapide que leur culture générale aura été plus forte.

Il est de toute évidence, dit M. Guillet dans sa conclusion, que quelle que soit la mesure prise pour le titre d'ingénieur et il est nécessaire qu'il y en ait, ce titre doit indiquer clairement, sans ambiguïté, la formation reçue, l'école d'où l'on sort. Il ne s'agit pas de faire respecter un titre, il s'agit de permettre au preneur de connaître la valeur de celui qu'il veut avoir comme collaborateur. La réglementation n'implique en aucune manière le nivellement et M. Guillet fait remarquer fort à propos qu'il y a, dans la carrière de médecin, par exemple, qui est cependant réglementée, des classes toutes naturelles allant des anciens externes aux maîtres éminents.

7. Conférence de M. Monteil. — Le président de la Fédération des Associations, Sociétés et Syndicats français d'Ingénieurs rappelle que la Société des Ingénieurs civils de France a déjà examiné en janvier 1922 l'importante question de la protection du titre professionnel sur laquelle un projet de loi avait été présenté par MM. Liouville, Paul-Boncour, Raynaldi et Baron.

Une commission fut constituée qui examina d'abord la question fondamentale : la dénomination d'ingénieur constitue-t-elle un titre? Sa réponse fut « que ce mot n'est pas un titre, mais la simple indication d'une profession que toute personne ayant des connaissances techniques suffisantes peut remplir et que cette qualification peut être suivie des mots : mécanicien, électricien, etc., dans le but d'indiquer la spécialisation de la profession ».

Elle étudia ensuite la question des autodidactes. Repoussant l'offre de M. Baron qui voulait proposer que l'admission à la Société des Ingénieurs civils de France entraîne le droit au port du titre d'ingénieur, elle dénonça comme indésirable le projet de loi qui lui était soumis, dans le souci de préserver de l'exclusion les autodidactes dont certains, comme Riquet, Flachat, de Lesseps, ont illustré l'industrie française.

Après avoir rappelé ces premiers travaux, le conférencier fait remarquer qu'il faut choisir entre les trois solutions suivantes :

1° Réclamer la protection du titre d'ingénieur à l'égal de celui de médecin et de pharmacien;

2° Laisser libre le port des titres d'ingénieur, ingénieur conseil, etc., mais, d'une part, protéger les titres comme ingénieur des Arts et Manufactures et, d'autre part, limiter le nombre des écoles qui délivrent des diplômes à titre protégé;

3° Garder le statu quo, sans aucune protection.

La Fédération que préside M. Monteil, a choisi la deuxième solution. Tout en laissant la porte ouverte à la protection absolue, elle croit que celle-ci est à l'heure actuelle inutile et même indésirable : inutile du fait que les ingénieurs agissent en groupements et que leurs actes peuvent être contrôlés en temps utile; indésirable, car elle risquerait de surprendre et de troubler les hiérarchies actuelles.

M. Monteil a ensuite repris les points principaux des conférences de M. Foillard sur la question des autodidactes, de M. Vandier, sur la méthode de réglementation qu'il propose, de M. Guillet, sur les bases de la formation de l'ingénieur. Il signale, en terminant, que les conférenciers qui ont pris la parole avant lui ont créé l'atmosphère en faisant connaître ce qu'il est désirable de faire et qu'il est maintenant nécessaire de le dire avec précision. La Fédération des Associations, Sociétés et Syndicats français d'Ingénieurs s'est attachée, dès les premiers jours, des juristes de valeur grâce auxquels les décisions du Conseil fédéral ont pu être transcrites sous une forme appropriée dans les relations de ladite fédération avec le Bureau international du Travail. C'est l'un d'eux qui va maintenant exposer la question sous ce point de vue plus particulier.

8. Conférence de M. Bloch. — Envisageant donc principalement le point de vue juridique, M. Bloch recherche, dès le début, ce qu'il faut pour que la réglementation demandée soit efficace. « Vous voulez une loi réglementant le port du titre d'ingénieur, dit-il : Parfait. Mais naturellement pas une loi quelconque, une *bonne* loi. » Il rappelle que faire une bonne loi est chose difficile et qu'il faut éviter les lois modificatives, interprétatives, rectificatives et complémentaires que le législateur surajoute presque toujours au texte primitif. Pour éviter ces inconvénients il est nécessaire de fixer exactement le but à atteindre et les principes à mettre en action.

A cet effet, le conférencier examine d'abord rapidement ce qui se passe à l'étranger. En Allemagne, en Autriche, au Chili, en Espagne, en Italie, en Pologne le mot ingénieur correspond à un titre délivré par les universités, les institutions d'Etat et les écoles spécialement habilitées par l'Etat. La République Argentine, la République de l'Equateur, la Hongrie agissent d'une manière analogue. En Bulgarie, où il n'y pas d'école technique supérieure, on protège le titre d'ingénieur reçu par diplôme à l'étranger.

Au Danemark et en Belgique il n'y a pas de protection spéciale. En Angleterre, le titre d'ingénieur est libre, mais, en fait, seuls les membres des grandes sociétés techniques ou scientifiques sont pris en considération.

En France, ingénieur n'est plus un titre, mais une profession, tandis qu'ingénieur diplômé de l'Ecole de... en devient un. Aussi est-il bon qu'on mette un peu d'ordre et de logique, dit M. Bloch, dans la maison de l'ingénieur français. Il pense qu'on y arrivera facilement grâce au texte de réglementation du *diplôme* établi par le Conseil supérieur de l'Enseignement technique, actuellement soumis à l'étude d'une commission et dont voici les points principaux :

L'article premier décrète qu'à l'avenir auront seuls qualité pour délivrer ce diplôme les établissements ci-après :

1° Les écoles publiques d'enseignement supérieur ;

2° Les universités ayant des instituts ou enseignements de sciences appliquées ou des établissements d'enseignement technique réunis par convention spéciale, la décision étant, pour chacun des cas, soumise à l'avis du Conseil supérieur de l'Enseignement technique, à celui de la Sous-Commission des Sciences appliquées et à celui du Comité consultatif de l'Enseignement public ;

3° Les écoles privées d'enseignement technique reconnues par l'Etat et qui auront obtenu l'autorisation de délivrer des diplômes et certificats (loi du 25 juillet 1919), sous réserve d'un programme minimum d'entrée et d'un programme minimum d'études ;

4° Sur demande, les autres écoles du même genre, mais non reconnues par l'Etal, dont les programmes et l'enseignement auront été reconnus suffisants par une commission spéciale ;

5° Le Conservatoire national des Arts et Métiers dans des conditions qui seraient fixées par un règlement d'administration publique.

L'article 2 prévoit le retrait de l'autorisation de délivrer des diplômes d'ingénieur dans les mêmes formes et avec les mêmes garanties que pour sa délivrance.

Par l'article 3 sont créés, à côté des diplômes dont il est parlé ci-dessus, des certificats dont la valeur est inférieure aux diplômes.

L'article 4 a pour but d'obliger toute personne utilisant le titre d'ingénieur diplômé ou de titulaire d'un certificat, de mentionner à la suite le nom de l'établissement qui l'a délivré. Dans cet article est également envisagée la situation des ingénieurs étrangers établis en France ; on y prévoit la réciprocité pour le traitement des titres étrangers en France et des titres français à l'étranger.

L'article 5 complète les précédents en prévoyant et punissant les infractions à chacun d'eux.

Les articles 6 à 12 traitent de la propriété des diplômes et certificats et règlent les formalités du dépôt des titres et modèles de diplômes au Tribunal de Commerce et au Ministère de l'Instruction publique, ainsi que les conditions de publicité de ces dépôts.

L'article 13 concerne l'usage et la propriété des abréviations ajoutées au titre d'ingénieur afin d'éviter les confusions trop souvent avantageuses pour celui qui les occasionne.

Les derniers articles (14 à 20) fixent les sanctions aux infractions, la compétence et la procédure.

Le conférencier termine en constatant que, dans l'ensemble et sous sa forme actuelle, le texte de cette réglementation paraît très acceptable et en souhaitant que le Parlement n'y apporte, quand il sera tout à fait au point, que le moins de modifications possible.

9. Conclusion. — Il ressort de l'ensemble des exposés que nous venons de résumer ci-dessus que la question de la réglementation du titre d'ingénieur a fait de sérieux progrès dans notre pays. L'accord paraît à peu près complet sur la nécessité de cette réglementation ; il l'est beaucoup moins sur la manière dont elle devra être réalisée ; cependant le projet établi par le Conseil supérieur de l'Enseignement technique paraît devoir donner satisfaction au plus grand nombre. Ce projet réglemente, en se tenant également éloigné de la licence et de la contrainte et, comme tout en restant prudent il proscrit ce qui produit l'abus, il n'est pas douteux qu'il n'apporte à ce point de vue un sérieux avantage aux intéressés. — B. E.

Assemblées générales

Compagnie Electro-Mécanique

Assemblée générale ordinaire du 13 mai 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 70 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 12, rue Portalis, nous extrayons les renseignements suivants :

Le montant des commandes enregistrées, en augmentation sur celui de l'année précédente, a dépassé notablement 300 millions de francs, ce qui assure une large alimentation des ateliers pour une période de temps qui déborde l'année 1930. Si ces résultats satisfaisants sont dus avant tout au développement constant des applications de l'électricité en France et à l'accroissement en nombre et en puissance des usines productrices, qui en découle, ils sont dus aussi à l'effort constant de tout le personnel de la compagnie.

Malgré cette situation favorable, le conseil suit avec attention le ralentissement qui s'est produit dans certaines industries en France, ainsi que la situation des pays voisins qui subissent actuellement une grave crise de surproduction. Aussi, croit-il devoir profiter de la période actuelle de prospérité pour continuer à améliorer les procédés de fabrication et chercher à réduire les prix de revient et les délais de livraison, tout en s'efforçant d'assurer un contact rapide et constant avec la clientèle.

C'est d'ailleurs partiellement en vue de procurer à la compagnie les moyens financiers permettant de réaliser ces améliorations que les actionnaires ont été réunis après l'as-

semblée ordinaire en assemblée générale extraordinaire pour donner l'autorisation de procéder à une émission d'obligations.

Pour que la production des ateliers puisse suivre l'accroissement des commandes, il est nécessaire de prendre des mesures spéciales. Il n'est pas toutefois dans les intentions du conseil de procéder à une augmentation des usines, mais seulement à des regroupements dans les fabrications et à des perfectionnements dans l'outillage.

L'industrie des turbines à vapeur a continué à progresser d'une façon satisfaisante. En raison de l'économie de combustibles qu'il permet de réaliser, l'emploi des pressions de 30 kg : cm² et au-dessus se généralise de plus en plus. Il y a même actuellement en construction une turbine de 50 000 kw devant fonctionner avec de la vapeur à 50 kg : cm² de pression en tournant à 3 000 t : mn. La proportion de turbines à haute pression qui ont été livrées, par rapport à l'ensemble des livraisons de turbines, qui l'année dernière était de 70 pour 100 est passée à 73 pour 100.

Il a été signalé, l'an dernier (1), l'application des turbines à vapeur à haute pression en remplacement des moteurs à gaz de hauts fourneaux dans la sidérurgie. Les installations qui ont été fournies sont aujourd'hui en service et les résultats obtenus ont confirmé les espérances que l'on avait fondées sur elles.

L'économie que permettent de réaliser les installations modernes utilisant tous les perfectionnements apportés dans la production de la vapeur et dans l'emploi des turbines incite beaucoup de sociétés productrices d'énergie à renouveler leur matériel ou à créer de nouvelles et importantes usines génératrices thermiques. C'est ainsi que, sans parler d'autres installations non moins importantes, la compagnie a été chargée de la fourniture du matériel mécanique et électrique pour la nouvelle usine de la Compagnie des Mines de Béthune qui comportera deux groupes turbo-alternateurs de 25 000 kw et deux groupes auxiliaires de 3 000 kw chacun.

Les usines génératrices hydroélectriques ont également apporté leur contingent de commandes. Au cours de l'année, il a été livré ou pris en commande 44 alternateurs et compensateurs synchrones représentant une puissance totale de plus de 120 000 kw.

Les ateliers ont également été largement alimentés en commandes de transformateurs, tant de petite puissance pour réseaux de distribution que de grande puissance pour transmission d'énergie à des tensions allant jusqu'à 220 000 v et des puissances jusqu'à 20 000 kw.

L'emploi des redresseurs à vapeur de mercure va toujours en croissant. Le nombre de cylindres et la puissance totale des appareils vendus au cours de l'année sont plus du double de ceux de l'année écoulée. Parmi les principaux clients, on peut citer la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris, la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, la Compagnie des Chemins de fer du Midi, la Compagnie française de Tramways. Si le succès des redresseurs est dû avant tout aux longs efforts accomplis par la Société Brown, Boveri et Cie pour réaliser le type actuel, il n'en faut pas moins reconnaître que les soins méticuleux apportés dans le choix des matériaux et dans les méthodes de travail employées dans cette fabrication très délicate sont un des éléments essentiels de cette réussite.

La fabrication et la vente de l'appareillage et des tableaux de distribution ont été très actives, et ce, dans toutes les branches de cet important rayon : disjoncteurs à moyenne et à haute tension, relais, sectionneurs, contacteurs, coffrets de manœuvre, commandes automatiques et plus récemment les tableaux à répétition lumineuse des manœuvres. L'extension des réseaux de transmission d'énergie et leur interconnexion, qui les rend de plus en plus solidaires les uns des autres, ont amené à rechercher des dispositifs permettant non seulement d'isoler les défauts qui peuvent se produire, mais aussi de déterminer le point défectueux d'une ligne. La Société Brown, Boveri et Cie est arrivée à créer un relais d'impédance qui répond aux conditions exigées par l'exploitation et cet appareil a déjà été adopté avec succès par un certain nombre de réseaux de distribution en France.

Le département « mines et métallurgie » a reçu également d'intéressantes commandes de moteurs de laminoirs, de moteurs pour engins de levage et accessoires de métallurgie, ainsi que de machines d'extraction. L'emploi des fours électriques se généralise de plus en plus : d'une part, les fours à arc pour la fusion ; d'autre part, les fours à résistance pour le traitement thermique des métaux. Pour ces derniers, la compagnie a conclu avec la Société Loy et Aubé, spécialisée dans cette industrie, un accord pour l'exploitation en commun des procédés Hagan et Brown, Boveri. Cet accord commence à porter ses fruits et il a été réalisé plusieurs installations importantes.

La compagnie a poursuivi l'amélioration de sa fabrication de petits moteurs, ce qui lui a valu plusieurs commandes de grosses séries de moteurs pour des applications spéciales.

En traction électrique, elle a enregistré la commande des sous-stations pour l'électrification du chemin de fer de Bône à Tebessa.

Les Chantiers de Penhoët ont reçu commande du paquebot « Colombie » et les Chantiers de la Méditerranée, de deux paquebots destinés à la Compagnie Paquet. Ces trois paquebots seront munis d'appareils moteurs à turbines du système de la Compagnie Electro-Mécanique, exécutés d'après ses plans.

L'exercice se solde par un bénéfice brut de 18 418 483,03 fr auxquels il faut ajouter 363 809,52 fr, reportés de l'exercice précédent, soit au total 18 782 292,55 fr. De cette somme il y a lieu de déduire 1 547 717,50 fr pour le service des obligations. Il est affecté aux amortissements une somme de 6 527 696,10 fr, réparti un dividende de 11 pour 100 et porté à une réserve spéciale 1 500 000 fr. Ces divers prélèvements absorberaient au total 16 703 134,65 fr, laissant un solde de 531 440,40 fr reporté à nouveau sur l'exercice 1930.

Dans les précédents bilans figurait au chapitre réserve spéciale une somme de 1 750 000 fr. Comme cette réserve provenait en fait d'une prime à l'émission, il a paru préférable de l'incorporer dans le chapitre prime à l'émission, qui se trouve ainsi porté de 1 000 000 fr à 2 750 000 fr.

Le coupon sera payé à raison de 55 fr brut, par action.

A titre d'indication, le montant des taxes et impôts payés par la compagnie, au cours de l'exercice, s'est élevé à 6 millions 842 000 fr contre 5 486 300 fr en 1928.

L'assemblée générale extraordinaire, qui a suivi l'assemblée ordinaire, a autorisé le conseil d'administration à émettre un emprunt obligataire jusqu'à concurrence de 50 millions de francs.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Caisses et banques	24 861 326,15
Effets à recevoir	5 221 914,70
A reporter	30 083 240,85

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 16 novembre 1929, t. XXVI, p. 805.

Report...	30 083 240,85	
Valeurs industrielles et participations moins amortissement	12 051 861,50	
Débiteurs divers	85 031 857,65	
Marchandises en magasins	39 443 392,55	
Dépenses sur affaires en cours	51 326 357	»
Brevets d'invention	1	»
Terrains	7 108 093,70	
Immeubles moins amortissement	16 755 000	»
Machines-outils moins amortissement	12 213 000	»
Outillage	1	»
Mobilier moins amortissement	1	»
Modèles	1	»
	254 012 807,25	

Passif.

	fr	
Capital social	70 000 000	»
Compte obligations	25 245 000	»
Coupons et obligations restant à payer	2 002 267,50	
Règlements anticipés des clients	58 130 837,05	
Fournisseurs, comptes créditeurs et comptes d'ordre	83 436 804,35	
Réserve légale	1 741 019,40	
Prime d'émission	2 750 000	»
Solde disponible	10 706 878,95	
	254 012 807,25	

Compagnie d'Electricité de l'Ouest parisien (Ouest-Lumière).

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 5 JUIN 1930.

Des rapports annuels, concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 110 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 52, rue de Lisbonne, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Malgré un léger fléchissement des ventes de courant vers la fin de l'exercice 1929, l'ensemble des ventes pendant toute l'année est en augmentation sensible sur 1928, passant de 181 636 000 kw-h en 1928 à 206 632 000 kw-h en 1929, soit une augmentation de 13,76 pour 100 (1).

La longueur des câbles souterrains à haute tension est passée de 575,1 à 594,6 km; celle des lignes aériennes à haute tension de 353,7 à 350,06 km. Pour la basse tension la longueur des câbles souterrains est passée de 233,15 à 243,755 km; celle des lignes aériennes de 1 332,29 à 1 363,785 km.

Le nombre d'abonnés directs est passé de 171 557 à 183 687, soit par 1 000 habitants, de 289 à 309.

Enfin, pendant la même période, la puissance installée en service utilisée pour l'éclairage est passée de 86 903 à 96 065 kw et celle correspondant à la force motrice de 118 197 à 139 410 kw.

Le rapport du conseil d'administration donne quelques indications sur la situation des sociétés dans lesquelles la compagnie a des intérêts : Union d'Electricité, Sud-Lumière, Société versaillaise de Tramways électriques et de Distribution d'Electricité, Nord-Lumière, Société de Distribution d'Electricité de l'Ouest, Energie électrique du Rouergue.

En dehors des actions de ces sociétés, toutes cotées en Bourse, le portefeuille de la compagnie renferme des actions de sociétés dont l'activité se développe dans des conditions intéressantes et dont, pour l'ensemble, les résultats sont satisfaisants.

La comparaison du bilan avec celui de l'an dernier fait ressortir les principales différences suivantes :

L'ensemble des immobilisations figure pour 135 millions 718 736,75 fr au bilan établi le 31 décembre 1929; ce chiffre est en augmentation de 14 484 964,62 fr sur celui du bilan précédent.

Le compte titres et valeurs s'élève cette année à 105 millions 756 834,87 fr en plus-value de 29 033 619,30 fr; cette différence résulte principalement de l'augmentation des intérêts de la compagnie dans la société Nord-Lumière et de la participation qu'elle a prise dans l'augmentation de la société l'Energie électrique du Rouergue.

Le compte de profits et pertes de l'exercice se décompose comme il suit : produit net du domaine industriel, 39 millions 004 847,58 fr; produit net du domaine privé, 8 millions 044 213,67 fr. Sur l'ensemble, soit 47 049 061,25 fr, il y a lieu de déduire : frais généraux sociaux, 743 134,40 fr; montant passé au compte général d'amortissement, 17 millions 500 000 fr.

Il reste une somme de 28 805 926,85 fr à laquelle il y a lieu d'ajouter le report de l'exercice 1928, soit 1 922 601,32 fr, formant un total de 30 728 528,17 fr.

La répartition est effectuée de la manière suivante : premier dividende aux actions, 6 pour 100 sur 110 millions de francs, soit 6 600 000 fr; au conseil d'administration, 10 pour 100 sur 22 205 926,85 fr, soit 2 220 592,70 fr; à la réserve générale de prévoyance, 5 000 000 fr; dividende complémentaire aux actions, 14 pour 100 sur 110 millions de francs, soit 15 400 000 fr.

Il reste une somme de 1 507 935,47 fr qui est reportée à nouveau.

Le dividende brut total est ainsi fixé à 20 fr par action : un acompte de 10 fr ayant été payé le 6 janvier 1930, le solde de 10 fr, sous déduction des impôts, est mis à la disposition des actionnaires à partir du 1er juillet.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr	
Terrains et constructions	14 805 991,41	
Centres de livraison, sous-stations et chambres de coupure	8 220 253,94	
Canalisations, branchements et chez clients	108 052 114,45	
Entrepreneurs et constructeurs (paiements sur travaux en cours)	4 640 375,95	
Gros outillage, mobilier et agencement	1	»
Approvisionnements généraux	5 389 813,04	
Cautionnements	5 179 288,80	
Titres et valeurs	105 756 834,87	
Caisses et banques	36 816 647,63	
Effets à recevoir	1 089 766,37	
Abonnés	26 136 066	»
Débiteurs divers	8 914 255,03	
Acompte sur dividende 1929	11 000 000	»
	336 001 408,49	

Passif.

	fr	
Capital actions	110 000 000	»
Réserve légale	11 000 000	»
Réserve générale de prévoyance	43 076 349,25	
Compte général d'amortissements	74 000 000	»
Dépôts de garantie	10 494 161,50	
Fournisseurs	8 468 010,51	
Provision pour impôts	15 000 000	»
Créditeurs divers	24 516 493,28	
Obligations 4,50 pour 100 restant à rembourser	6 477,90	
Bons décennaux 6 pour 100 1918 restant à rembourser	7 500	»
Actions. — Coupon en cours de paiement	8 141 940,80	
Coupons divers restant à payer	561 947,08	
Solde bénéficiaire de l'exercice	28 805 926,85	
Report de l'exercice antérieur	1 922 601,32	
	336 001 408,49	

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre 1929, t. XXVI, p. 459.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 7. — 16 AOUT 1930.

Chronique. — Comité national de l'Organisation française : Enquête concernant les aptitudes physiques et physiologiques que doit posséder un contremaître, p. 225. — Société hydrotechnique de France, p. 226. — Bibliographie : Comment on devient ajusteur et monteur mécanicien, par René CHAMPLY, p. 226; Starkstromtechnik (La technique des courants forts), par E.-V. RZIHA et J. SEIDENER, p. 226.

Section scientifique et technique. — Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne, par Joseph-Maxime PESTARINI, p. 227. — Revues, analyses et informations : Sur la distribution spatiale du rayonnement gamma du radium dans les milieux dispersifs légers, p. 238; Expériences sur les anomalies apparentes de la loi d'Ohm appliquée aux métaux dans le cas de grandes densités de courant, p. 238.

Section industrielle. — Coffrets pour petits moteurs, par C. BRESSON, p. 239. — Revues, analyses et informations : Régulateurs pour turbines hydrauliques, p. 249; Electrode en forme de borne condensateur empêchant l'apparition des étincelles rampantes dans les essais de rigidité diélectrique, p. 251.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie générale d'Electricité, p. 253; Electricité de la Seine, p. 256.

Comité national de l'Organisation française : Enquête concernant les aptitudes physiques et physiologiques que doit posséder un contremaître. — Le Comité national de l'Organisation française, dont le siège social est 44, rue de Rennes, à Paris (6e), vient d'adresser à ses membres un questionnaire ayant pour objet de déterminer les aptitudes que doit posséder un contremaître dans les ateliers modernes. Etant donné l'intérêt que présente cette question pour un grand nombre de nos lecteurs, nous reproduisons ci-dessous la circulaire que vient de publier dans son bulletin mensuel le Comité national de l'Organisation française :

APTITUDES GÉNÉRALES NÉCESSAIRES AU CONTREMAITRE. — Le contremaître occupe dans l'industrie une situation assez mal définie, bien que capitale. Placé entre le chef d'atelier (ou le directeur de l'usine dans les petites entreprises) et les chefs d'équipe et les ouvriers, il doit assumer des fonctions qui varient essentiellement, d'une part, avec la nature de l'industrie et son importance relative, d'autre part, avec le degré d'organisation de l'entreprise. Aux anciennes attributions du contremaître, qui devait s'occuper à la fois du recrutement et de la sélection de son personnel, de la fixation des salaires, de l'approvisionnement en matières premières, de la charge journalière de ses machines, etc., il est devenu nécessaire de substituer un ensemble de fonctions plus restreintes et plus nettement délimitées.

DÉFINITION DU CONTREMAITRE. — La troisième Commission d'Etudes a cru nécessaire et a décidé d'adopter la définition suivante pour préciser les attributions du contremaître dans une entreprise de moyenne importance, dont l'organisation répond aux exigences de la production moderne : « Le contremaître est dans l'échelle hiérarchiqne le premier agent d'une entreprise industrielle qui soit payé au mois ; dirigeant directement l'activité d'un certain nombre d'ouvriers, il est chargé d'assumer avec eux une fabrication déterminée, la main-d'œuvre, les matières premières, les outils et les temps d'exécution étant fixés et fournis à l'avance par un ou plusieurs organismes indépendants de lui ; ses occupations étant exclusivement d'ordre technique, il n'a besoin d'utiliser que des connaissances approfondies sur les hommes et les outils qui lui sont confiés, en vue d'en surveiller le travail et la conservation, pour obtenir des produits conformes au prix de revient le plus bas ».

Les devoirs du contremaître étant ainsi définis, il s'agit de choisir, parmi un certain nombre de candidats, recrutés soit parmi le personnel ouvrier et les agents techniques qui se sont révélés dans l'entreprise elle-même, soit parmi des contremaîtres venant d'autres entreprises similaires, l'homme qui satisfasse en tous points à la fonction vacante. Sur quels critères va-t-on le juger?

Que la direction possède en propre un service de psychotechnique, ou bien qu'elle s'adresse à une institution spécialisée dans la mise en application des méthodes de sélection du personnel de maîtrise, ou même qu'elle s'en rapporte au jugement et à l'appréciation personnels de son chef d'atelier ou de son directeur technique, il lui faut appuyer son choix sur un certain nombre de qualités qu'elle estime indispensables au contremaître dans l'exercice des fonctions ci-dessus définies.

Le questionnaire suivant a pour objet de grouper les aptitudes requises en plusieurs catégories distinctes et pour but d'obtenir, pour chaque catégorie, des réponses nombreuses, mais précises, de la part des industriels qui désireront apporter leur contribution, si faible soit-elle, au

problème complexe et délicat de la sélection des contremaîtres par les méthodes psychotechniques. Nous les en remercions vivement par avance.

QUESTIONNAIRE. — 1° Quelles sont les aptitudes physiques et physiologiques que vous estimez indispensables à un contremaître ?

Les forces de résistance musculaire et nerveuse doivent-elles être particulièrement développées dans certains domaines ? Lesquels ?

2° Quelles sont les aptitudes psychophysiques qui doivent spécialement être recherchées chez un contremaître ?

a) Dans le domaine moteur (adresse et vitesse des mouvements, aptitudes au langage concis, à réprimer les signes d'impatience et de mécontentement, etc.).

b) Dans le domaine sensoriel (acuité de perception des sens, rapidité de perception, etc.).

c) Dans le domaine sensitivo-moteur (présence d'esprit, conformité des mouvements, etc.),

3° Quelles sont les aptitudes psychiques nécessaires ? (Intelligence, bon sens, instruction, connaissances professionnelles, mémoire temporelle et spatiale, etc.).

4° Quelles sont les principales qualités morales que vous jugez indispensable de trouver chez un contremaître ? (Esprit de méthode, jugement, équité, conscience professionnelle, activité, ascendant, etc.).

5° Pourriez-vous grouper les différentes aptitudes mentionnées dans votre réponse par ordre d'importance décroissante, ou mieux affecter à chacune d'elles un coefficient variant de 0 à 10, suivant le degré d'importance que vous estimez devoir faire correspondre à chaque aptitude ?

6° A-t-on dans votre entreprise une liste des aptitudes exigées des contremaîtres ? Pourriez-vous nous en faire part ?

Société hydrotechnique de France. — Dans le fascicule n° 42 des « Comptes rendus des Travaux de la Société hydrotechnique de France » annexé au présent numéro sont publiés trois mémoires sur lesquels nous attirons l'attention de nos lecteurs.

Le premier mémoire de MM. R. Bourgeat, P. Leroux et E. Jouguet est intitulé : « Les expériences de Beauvert sur les tuyères et la similitude hydrodynamique » ; il est divisé en deux parties. Dans la première, les auteurs établissent la théorie de la similitude et ils l'appliquent, dans la seconde partie, à la discussion des expériences effectuées au laboratoire de Beauvert.

Les expériences visées ont fait l'objet d'un précédent mémoire de M. P. Leroux, publié sous le titre de « Détermination du coefficient de débit de tuyères fonctionnant en écoulement libre » dans la « Revue générale d'Electricité », du 7 mai 1927, t. XXI, pages 365 H à 375 H.

Le deuxième mémoire de MM. Boullé et A. Langevin est une « Etude des coups de béliers dans les canalisations de faibles longueurs et de petits diamètres à l'aide d'un enregistreur piézoélectrique à lame de quartz ».

Dans le troisième mémoire, MM. Barillon et Spronk présentent un « Abaque pour le calcul des conduites de section circulaire » ; ils montrent comment cet abaque peut être établi et en indiquent des applications à d'autres problèmes d'hydraulique.

Bibliographie : Comment on devient ajusteur et monteur mécanicien, par René CHAMPLY (1). — Cet ouvrage a pour but de compléter la formation professionnelle des ouvriers mécaniciens. Il leur permet d'acquérir des connaissances plus approfondies sur le dessin industriel, les mesures, le traçage et la vérification des pièces mécaniques, ainsi que sur l'ajustage, le montage, le démontage des machines et l'installation des transmissions de mouvement.

La première partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude de la géométrie et du dessin industriel ; la deuxième partie, aux outils et à leur emploi. Enfin, une troisième partie concerne l'exécution des travaux.

On sait que, si la multiplication des machines dans les ateliers a permis de remplacer économiquement l'ancien ajustage au burin et à la lime et de substituer, pour les travaux en série, le manœuvre spécialisé à l'ajusteur professionnel, celui-ci est de plus en plus nécessaire pour la fabrication des outillages compliqués et précis qu'exigent les machines-outils modernes.

L'outilleur ajusteur doit être plus instruit et plus habile que l'ancien ouvrier burineur et limeur, car les outils, les matrices et poinçons demandent une extrême précision. Dans le même ordre d'idées, l'ajusteur monteur de machines manipule aujourd'hui des pièces bien plus lourdes et d'un assemblage plus difficile que celles de jadis. C'est pour la formation de ces ouvriers d'élite que M. R. Champly a écrit ce volume, qui complète heureusement ceux qui ont déjà paru pour le forgeron, le tourneur et le fraiseur. — R. L.

Bibliographie : Starkstromtechnik (La technique des courants forts), par E.-V. RZIHA et J. SEIDENER (2) — Le présent volume constitue le tome premier de l'ouvrage répondant au titre précité. Il contient d'abord un court rappel des principales notions de mathématiques supérieures, nécessaires aux ingénieurs électriciens dans la pratique générale de l'électrotechnique et de ses diverses applications. Le deuxième chapitre est consacré aux bases physiques de l'électrotechnique : à côté de la théorie du champ électromagnétique de Maxwell, apparaît, comme complément à l'œuvre du grand physicien anglais, l'étude des ions et des électrons, étude qui à l'heure actuelle est devenue indispensable à l'ingénieur-électricien et dont un aperçu des principes les plus essentiels est donné dans l'ouvrage.

Le troisième chapitre concerne les instruments de mesure, notamment les compteurs et les appareils transmetteurs d'indication des mesures à distance. Après diverses considérations préliminaires on trouve deux chapitres sur la théorie et la construction des machines électriques et des transformateurs avec de nombreux exemples empruntés aux maisons de construction les plus connues.

L'étude des redresseurs, lesquels ont pris une extension considérable durant ces deux dernières années, fait l'objet du sixième chapitre rédigé suivant les données les plus récentes.

Les chapitres suivants concernent les accumulateurs, les appareils de réglage, les démarreurs, l'appareillage d'interruption et le matériel d'installation. Enfin les deux derniers chapitres sont consacrés à l'éclairage électrique et aux applications électrothermiques. — L. V.

(1) Un volume, format 24 cm × 16 cm, de 266 pages et 295 figures dans le texte, édité par la librairie Desforges, Girardot et Cie, 27 et 29, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : broché, 25 fr.

(2) Un volume de format 19 cm × 12 cm, de 1040 pages, avec 1115 figures dans le texte, édité par la librairie Wilhelm Ernst und Sohn, 90, Wilhelmstrasse, à Berlin W 8. Prix relié : toile, 34 marks ; peau, 37 marks.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne

L'auteur a exposé dans ces colonnes (*) la théorie élémentaire du fonctionnement statique des métadynes. Il se propose d'étudier dans l'article qui suit le fonctionnement en régime transitoire. La théorie du régime transitoire développée au point de vue le plus général est suivie de l'application des résultats obtenus à l'étude du fonctionnement de la métadyne. Il considère en premier lieu les problèmes que soulèvent les variations très rapides dans le temps, se plaçant surtout au point de vue de la stabilité du système électrique ; cette étude peut, d'ailleurs, moyennant certaines hypothèses simplificatrices, convenir à tout système électrique. Ensuite sont traitées les variations lentes dans le temps, surtout au point de vue du réglage de la vitesse des métadynes transformatrices d'énergie et à celui de la commutation sous les balais.

I. Etude analytique du régime transitoire. — 1. Considérations sur le régime stationnaire. — Reprenons l'ensemble des équations internes et externes du régime stationnaire et, pour simplifier les écritures, indiquons les variables qui y interviennent par X_1, X_2, ... X_n, représentant soit des courants, soit des tensions, soit des vitesses de rotation, soit encore des grandeurs d'autre nature et supposons que quand on se donne q de ces grandeurs, q étant inférieur à n, les autres soient définies; nous avons un système de $n-q$ équations

$$\left.\begin{aligned} &f_1(X_1, X_2, \dots X_n) = 0,\\ &f_2(X_1, X_2, \dots X_n) = 0,\\ &\dots\dots\dots\dots\\ &f_{n-q}(X_1, X_2, \dots X_n) = 0, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

dans lesquelles le temps ne figure pas.

Soient X_1, X_2, ... X_q les variables arbitraires et X_{q+1}, X_{q+2}, ... X_n celles définies par le système (1). Un système de valeurs des premières détermine un point dans un espace à q dimensions, point que nous indiquerons par le symbole Q $(X_1, X_2, \dots X_q)$. Un système de valeurs X_{q+1}, X_{q+2}, ... X_n détermine un point dans un espace à $n-q$ dimensions, point que nous indiquerons par le symbole

$$P(X_{q+1}, X_{q+2}, \dots X_n).$$

Il se peut que la nature des équations du système (1) soit telle qu'à un point réel Q corresponde :

1° Un seul point réel P; nous dirons alors avoir un point « simple » de fonctionnement statique;

2° Un nombre fini, soit s, de points réels P et nous dirons avoir s points « conjugués » de fonctionnement stationnaire;

3° Un nombre infini de points réels P et nous dirons avoir une infinité de points conjugués de fonctionnement statique;

4° Uniquement des points à coordonnées complexes, ou au moins une complexe, sans aucun point P réel; nous dirons alors qu'il n'y a pas de points de fonctionnement stationnaire.

2. Du régime transitoire et de la stabilité. — Le régime transitoire mérite de retenir notre attention et ceci, parce qu'il caractérise la stabilité d'un régime statique. Soient toujours X_1, X_2, ... X_q les variables arbitraires, les autres variables étant maintenant des fonctions du temps et pour les distinguer, nous les désignerons par les symboles x_{q+1}, x_{q+2}, ... x_n.

Les équations du régime transitoire se déduisent de celles du régime statique, par le fait que des termes nouveaux sont introduits qui tiennent compte du temps, tels, par exemple, les termes dans lesquels figurent les dérivées $\frac{dx_{q+1}}{dt}$, $\frac{dx_{q+2}}{dt}$; ces équations sont de la forme

$$\left.\begin{aligned} &F_1\left(X_1, X_2, \dots X_q, x_{q+1}, x_{q+2}, \dots x_n, \frac{dx_{q+1}}{dt}, \dots\right) = 0,\\ &F_2\left(X_1, X_2, \dots X_q, x_{q+1}, x_{q+2}), \dots x_n, \frac{dx_{q+1}}{dt}, \dots\right) = 0,\\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\ &F_{n-q}\left(X_1, X_2, \dots X_q, x_{q+1}, x_{q+2}, \dots x_n, \frac{dx_{q+1}}{dt}, \dots\right) = 0. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

A côté de ces équations différentielles dans lesquelles X_1, X_2, ... X_q ne sont que des paramètres, il faudra

(*) Joseph-Maxime Pestarini; Théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne. *Revue générale de l'Electricité*, 8 et 15 mars 1930, t. XXVII, p. 355-365 et 395-406.

aussi considérer les conditions initiales

$$\left.\begin{aligned} (x_{q+1})_{t=0} &= X^{a}_{q+1}, \\ (x_{q+2})_{t=0} &= X^{a}_{q+2}, \\ &\cdots\cdots \\ (x_{n})_{t=0} &= X^{a}_{n}, \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

les seconds membres de ces égalités sont donc aussi des paramètres du problème. Nous dirons qu'il faudra « partir » du point $P^{(a)}$ de l'espace à $p = n - q$ dimensions dont il a été question plus haut.

Considérons un point $Q^{(a)}$ fixe de l'espace des variables $X_1, X_2, \ldots X_q$, et supposons qu'à ce point correspondent plus d'un point de fonctionnement statique, soient les points $P^{(\alpha)}$, $P^{(\beta)}$, $(P^{(\gamma)}$, ... conjugués entre eux. Considérons à part le point $P^{(\alpha)}$ et supposons qu'on ait résolu les équations (2) en partant du point $Q^{(a)}$ déjà fixé et d'un point quelconque P. Nous pouvons suivre dans l'espace à $n - q$ dimensions, dont il a été question plus haut, le point

$$P\,(x_{q+1}, x_{q+2}, \ldots x_n),$$

en fonction du temps.

a) Il se peut alors qu'autour du point $P^{(\alpha)}$ comme centre existe une sphère à $n - q$ dimensions (1), de rayon différent de zéro, telle qu'en « partant » de tout point P intérieur à cette sphère, on « arrive » toujours au point $P^{(\alpha)}$, c'est-à-dire que l'on ait toujours

$$\lim_{t=\infty} P\,(x_{q+1}, x_{q+2}, \ldots x_n) = P^{(\alpha)}.$$

Nous dirons alors que le point de fonctionnement statique $P^{(\alpha)}$, correspondant au point Q « est stable ». Bien entendu il est supposé que toutes les coordonnées du point $P^{(\alpha)}$ sont finies.

b) Il se peut que le point $P^{(\alpha)}$ n'appartienne pas à la catégorie *a*, mais qu'il existe une sphère à $n - q$ dimensions et de rayon non nul, telle qu'en partant de tout point intérieur à cette sphère on arrive toujours à $P^{(\alpha)}$, ce dernier point étant, toutefois, situé sur la surface de cette sphère. Nous dirons alors que le point $P^{(\alpha)}$ est « stable d'une façon précaire » et situé à la frontière de la zone de stabilité.

c) Il se peut qu'il n'existe pas de sphère qui comprenne le point $P^{(\alpha)}$, telle qu'en partant d'un point de cette sphère on arrive à $P^{(\alpha)}$ et qu'en partant de $P^{(\alpha)}$ même on arrive à un autre point à coordonnées finies, point qui est nécessairement alors un point conjugué de $P^{(\alpha)}$ correspondant au même point $Q^{(\alpha)}$. Nous dirons alors que le point $P^{(\alpha)}$ est « instable à limite finie ».

d) Il se peut qu'il n'existe pas de sphère qui comprenne le point $P^{(\alpha)}$ telle qu'en partant d'un point de cette sphère on arrive à $P^{(\alpha)}$ et qu'en partant de $P^{(\alpha)}$ même on s'éloigne vers l'infini (c'est-à-dire au moins une des coordonnées $x_{q+1}, x_{q+2} \ldots x_n$ tend vers l'infini). Nous dirons alors que le point $P^{(\alpha)}$ est « instable à limite infinie ».

Donc à tout point Q des paramètres peuvent correspondre en général un certain nombre de points stables et un certain nombre de points instables. Jusqu'ici nous avons supposé le point Q fixe dans l'espace à q dimensions. Déplaçons-le maintenant d'une façon continue et supposons qu'il prenne toutes les positions d'un espace à q dimensions ; les points conjugués $P^{(\alpha)}$, $P^{(\beta)}$, ... du régime stationnaire qui lui correspondent se déplaceront aussi en général et décriront une variété de $n - q$ dimensions au plus. Pendant ce mouvement certains des points conjugués peuvent coïncider, ou bien disparaître (quand au moins une des coordonnées devient complexe). L'espace qu'un point de fonctionnement stationnaire $P^{(\alpha)}$ remplit quand il est stable et l'espace correspondant rempli par le point Q, sont les zones de stabilité relatives au point $P^{(\alpha)}$. La détermination des zones de stabilité est du plus haut intérêt pratique.

Considérons un point fixe de la zone de stabilité dans l'espace à $n - q$ dimensions relative au point $P^{(\alpha)}$; soit $\bar{P}^{(\alpha)}$ ce point fixe et $\bar{Q}$ le point correspondant des paramètres. Déterminons tous les points P de l'espace à $n - q$ dimensions à partir desquels on arrive toujours au point $\bar{P}^{(\alpha)}$, pour $\bar{Q}$ fixe, bien entendu. Tous ces points remplissent en général un espace à $n - q$ dimensions que nous appellerons « zone des perturbations résorbées » relative aux points $\bar{P}^{(\alpha)}$ et $\bar{Q}$. Plus cette dernière zone est grande, plus le régime statique des points $\bar{P}^{(\alpha)}$ et $\bar{Q}$ est stable ; la zone des perturbations résorbées est donc une mesure de la stabilité.

3. Les équations du rotor pour le régime transitoire. — Considérons à part les équations du rotor de la métadyne pour le régime transitoire et supposons pour simplifier les capacités nulles. Nous reprenons les notations de notre précédent article (paragraphe III) et nous avons

$$\left.\begin{aligned} V_{ah} = &\sum_{cd} E^{cd}_{ab} + \sum_{A} U^{A}_{ab} - \sum_{cd} M^{cd}_{ab} \frac{dI_{cd}}{dt} \\ &- \sum_{A}\sum_{c} M^{Ac}_{ab} \frac{dI_{a}}{dt} - \sum_{A}\sum_{\alpha} M^{A\alpha}_{ab} \frac{dI_{\alpha}}{dt}, \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

(1) C'est-à-dire un volume à $n - q$ dimensions limité par l'ensemble de tous les points P $(x_{q+1}, x_{q+2}\ x_n, \ldots)$ tels que

$$\left|\sqrt{\left(x^{(\alpha)}_{q+1} - x_{q+1}\right)^2 + \left(x^{(\alpha)}_{q+2} - x_{q+2}\right)^2 + \ldots + \left(x^{(\alpha)}_{n} - x_n\right)^2}\right| = \rho$$

où $x^{(\alpha)}_{q+1}, x^{(\alpha)}_{q+2} \ldots x^{(\alpha)}_{n}$ sont les coordonnées du point $P^{(\alpha)}$. Le nombre positif ρ est appelé *rayon* de cette sphère et l'ensemble des points P distants de ρ du point $P^{(\alpha)}$ est appelé « surface » de cette sphère.

$$V_{bc} = \sum_{de} E_{bc}^{de} + \sum_{A} U_{bc}^{A} - \sum_{de} M_{ab}^{de} \frac{dI_{de}}{dt} - \sum_{A}\sum_{\alpha} M_{bc}^{A\alpha} \frac{dI_a}{dt} - \sum_{A}\sum_{\alpha} M_{bc}^{A\alpha} \frac{dI_\alpha}{dt},$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4\text{ bis})$$

$$V_{ha} = \sum_{bc} E_{ha}^{bc} + \sum_{A} U_{ha}^{A} - \sum_{bc} M_{ha}^{bc} \frac{dI_{bc}}{dt} - \sum_{A}\sum_{b} M_{ha}^{Ab} \frac{dI_b}{dt} - \sum_{A}\sum_{\alpha} M_{ah}^{A\alpha} \frac{dI_\alpha}{dt},$$

où M_{ab}^{cd} est le coefficient d'induction mutuelle entre le segment de l'enroulement induit qui va de a vers b et celui qui va de c vers d ; $M_{ab}^{A\alpha}$ est le coefficient d'induction mutuelle entre le segment de l'enroulement induit qui va de a vers b et la bobine statorique autour du segment polaire immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa parcourue par le courant I_c du balai c ; $M_{ab}^{A\alpha}$ est le coefficient d'induction mutuelle entre le segment de l'enroulement induit qui va de a vers b et la bobine statorique autour du segment polaire immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa et parcourue par le courant I_α autre que ceux I_a, I_b, ... I_h, des balais a, b, h et dus, par exemple, à la régulatrice, à une excitation séparée, ou une excitation shunt etc., l'indice des courants I étant une lettre grecque.

Dans les formules (4) figurent les courants intérieurs de l'enroulement induit : I_{ab}, I_{bc}, ... I_{ha}. Pour déterminer ces courants, nous avons toujours $h-1$ équations indépendantes du système (5) du paragraphe III de l'article précédent, système qui reste le même pour le régime transitoire, mais à la place de l'équation de ce même paragraphe III précité, nous avons pour le régime transitoire l'équation

$$0 = \sum_{ab} I_{ab} r_{ab} + \sum_{ab}\sum_{cd} M_{ab}^{cd} \frac{dI_{cd}}{dt} + \sum_{A}\sum_{c}\sum_{ab} M_{ab}^{Ac} \frac{dI_c}{dt} + \sum_{A}\sum_{\alpha}\sum_{ab} M_{ab}^{A\alpha} \frac{dI_\alpha}{dt}; \quad (5)$$

cette équation introduit les variables I_a, I_b, ... et ne suffit pas avec les $h-1$ équations du système (5) du paragraphe III de l'article précédent à déterminer les courants internes I_{ab}, I_{bc}, ... I_{ha} en fonction des courants des balais I_a, I_b, ... I_h. La détermination des courants internes de l'induit devient donc en régime transitoire bien plus laborieux qu'en régime stationnaire.

Le théorème qui suit simplifie ce problème, pour le cas le plus fréquent en pratique.

4. Théorème I. — *La force électromotrice induite dans un segment de l'enroulement induit, ou dans une bobine statorique, par induction mutuelle, peut être calculée en partant de n'importe quel système de courants fictifs de l'induit pour un enroulement à tambour.*

En premier lieu, faisons observer que pour le régime transitoire le système d'équations (5) du paragraphe III de l'article précédent définit les courants internes de l'induit I_{ab}, I_{bc}, ... I_{ha} en fonction des courants des balais I_a, I_b, ... I_h, à une valeur η près qui est cette fois non plus une constante, mais une fonction du temps, elle aussi, la même pour tous les courants internes.

Prenons maintenant en considération la force électromotrice induite, par induction mutuelle des courants internes de l'induit, dans un segment de cet induit. Elle a pour forme

$$\sum_{cd} M_{ab}^{cd} \frac{dI_{cd}}{dt}.$$

Notons les valeurs d'un système de courants fictifs par les symboles $\overline{I}_{ab}$, $\overline{I}_{bc}$, ... $\overline{I}_{ha}$, nous avons

$$\sum_{cd} M_{ab}^{cd} \frac{dI_{cd}}{dt} = \sum_{cd} M_{ab}^{cd} \frac{d(I_{cd}+\eta)}{dt} = \sum_{cd} M_{ab}^{cd} \frac{dI_{cd}}{dt} + \frac{d\eta}{dt} \sum_{cd} M_{ab}^{cd}.$$

Mais l'on voit facilement que

$$\sum_{cd} M_{ab}^{cd} = M_{ab}^{ab} + M_{ab}^{bc} + M_{ab}^{cd} + \ldots + M_{ab}^{ba} = 0, \quad (6)$$

par exemple, en considérant le champ créé dans l'entrefer par le courant η et celui à l'intérieur du fer du rotor (champs qui sont nuls partout). De là le théorème en ce qui concerne la force électromotrice dans un segment de l'induit. Pour une bobine statorique, la démonstration se fait de la même manière.

L'égalité (6) sur laquelle est basé ce théorème n'est exacte pour le bobinage en tambour que si les conducteurs de retour sont infiniment voisins des conducteurs d'aller, condition pratiquement satisfaite.

Remarque. — Tandis que l'on est accoutumé à ne pas voir des différences essentielles dans les dynamos ordinaires entre l'anneau Gramme et le tambour, de l'étude faite jusqu'ici on voit que, pour la métadyne en général, il y a une différence fondamentale de fonctionnement si l'on passe d'un genre de bobinage à l'autre.

5. Equations complètes pour le régime transitoire. — Grâce au théorème qui précède il est assez simple d'établir les équations complètes pour le régime transitoire. Nous aurons donc un système d'équations différentielles linéaires, non homogènes. On peut se proposer de les résoudre pour connaître ainsi les courants pendant le régime variable, mais le problème le plus important en pratique est de reconnaître si le régime est stable ou instable et, pour cela, il n'est pas nécessaire de résoudre complètement le système d'équations différentielles.

En premier lieu faisons remarquer que c'est la régulatrice qui détruit le caractère linéaire des équations du régime stationnaire ; or, pour que la régulatrice puisse

faire sentir son action, il faut que des variations de vitesse de la métadyne interviennent. Les phénomènes transitoires sont pratiquement d'une si courte durée que la vitesse de la métadyne peut être considérée comme constante et cette action de la régulatrice qui se traduit par des expressions non linéaires, comme nulle. Mais alors toutes les équations différentielles deviennent linéaires à coefficients constants. Pour l'étude de la stabilité il suffira alors de considérer le système d'équations différentielles homogènes correspondantes qui seront de la forme

$$\sum_{i=1}^{r} a_{ki} \frac{dy_i}{dt} + \sum_{i=1}^{r} b_{ki} y_i = 0, \qquad (7)$$

où $$k = 1, 2, 3, \ldots r.$$

Nous avons employé ici le symbole y_i au lieu de x_i employé plus haut pour bien faire ressortir qu'il ne s'agit plus ici du courant réel, mais d'un courant qui ajouté à celui du régime stationnaire donne le courant du régime transitoire et qui s'annule quand le régime stationnaire stable est atteint ($y_i + x_i = X_i$ en cas de stabilité). La solution générale du système (7) est ramenée à celle d'une équation algébrique de degré r,

$$\alpha_0 \rho^r + \alpha_1 \rho^{r-1} + \alpha_2 \rho^{r-2} + \ldots + \alpha_r = 0. \qquad (8)$$

Supposons qu'elle n'ait pas de racines multiples (1) ; la solution générale de l'équation différentielle d'ordre r équivalente au système (7) est alors de la forme

$$y = \sum_{h=1}^{m} e^{\sigma_h t}(B_h \sin \omega_h t + C_{m+h} \cos \omega_h t) + \sum_{h=2m+1}^{r} A_h e^{\sigma_h t} \qquad (9)$$

où l'on a posé

$$\rho_h = \sigma_h + \sqrt{-1}\, \omega_h$$

et où le nombre de racines réelles est $r - 2m$.

Tant que les σ_h sont tous négatifs, on a un point de fonctionnement stable ; si un ou plusieurs de ces exposants sont positifs, le point de fonctionnement est instable à limite infinie. Pour s'assurer donc de la stabilité du fonctionnement, il suffira de vérifier que ces exposants sont tous négatifs. Pour cette vérification, au cas où r est plus grand que 4, on peut recourir à la théorie des résidus des fonctions analytiques ; le théorème de Hurwitz (2) donne, sous une forme pratique, les conditions nécessaires et suffisantes pour que tous les exposants σ_h soient négatifs :

(1) Le cas des racines multiples est infiniment peu probable en pratique ; il ne ferait d'ailleurs que rendre plus laborieuses les démonstrations qui suivent, sans les modifier radicalement.

(2) *Mathematische Annalen*, t. XLVI, J.-B. POMEY ; — Démonstration du théorème d'Hurwitz sur les conditions nécessaires à l'existence d'un régime oscillatoire. *Revue générale de l'Electricité*, 5 octobre 1929, t. XXVI, p. 519-521.

1° Tous les coefficients α de l'équation (8) doivent être du même signe ;

2° Ce même signe doit être celui de tous les déterminants de la forme :

$$\Delta_k = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_3 & \alpha_5 & \ldots & \alpha_{2k-1} \\ \alpha_0 & \alpha_2 & \alpha_4 & \ldots & \alpha_{2k-2} \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_3 & \ldots & \alpha_{2k-3} \\ 0 & \alpha_0 & \alpha_2 & \ldots & \alpha_{2k-4} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \alpha_k \end{vmatrix}$$

quand k prend successivement les valeurs $2, 3, \ldots m-1$, les coefficients α_{r+1}, α_{r+2}, ... étant prix égaux à zéro.

On supposera, dans la suite, que $\alpha_0 \neq 0$, c'est-à-dire que les équations (7) peuvent se mettre sous la forme canonique

$$\frac{dy_i}{dt} = \sum_{h=1}^{r} c_{ih} y_h, \qquad (9\text{ bis})$$

où $$i = 1, 2, 3, \ldots r,$$

et alors l'équation (8) peut s'écrire de suite sous la forme suivante

$$\begin{vmatrix} c_{11} - \rho & c_{12} & c_{13} & \ldots & c_{1r} \\ c_{21} & c_{22} - \rho & c_{23} & \ldots & c_{2r} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{r1} & c_{r2} & c_{r3} & \ldots & c_{rr} - \rho \end{vmatrix} = 0, \qquad (9\text{ ter})$$

qui est toujours de degré r.

6. SUR LES VARIÉTÉS FRONTIÈRES DU DOMAINE DE STABILITÉ. — Au lieu de vérifier qu'un régime est stable, on peut se demander pour quelles valeurs des coefficients le régime est stable. Considérons un espace à $2r$ dimensions ; un point de cet espace pourra représenter, par ces $2r$ coordonnées, un ensemble de valeurs des $2r$ coefficients a_{ki} et b_{ki} qui figurent dans le système d'équations (7) et qui sont toujours réels.

On peut se demander alors de reconnaître dans cet espace, que nous appellerons « espace des coefficients » a_{ik} et b_{ik}, les points pour lesquels le régime est stable et celui pour lequel le régime est instable, et de déterminer ainsi la variété frontière qui les sépare. D'après le théorème de Hurwitz, cette variété frontière est le lieu géométrique des points de l'espace des coefficients a_{ik} et b_{ik} pour lesquels un (ou plusieurs) des déterminants considérés dans le théorème en question et formés avec les coefficients α_1, α_2, α_r de l'équation caractéristique (8), s'annule, tous les autres déterminants gardant le même signe. Si l'on connaît cette variété frontière, il suffira de vérifier de quel côté le point de l'espace des coefficients a_{ik} et b_{ik} se trouve par rapport à elle pour reconnaître si le régime est stable ou instable. Désignons cette variété frontière par VR ; nous pouvons

y distinguer deux parties : celle pour laquelle le régime est oscillatoire et celle pour laquelle le régime n'est pas oscillatoire, mais asymptotique; désignons cette dernière par le symbole VRA. Le théorème qui suit est relatif à cette dernière, et l'intérêt pratique de ce théorème vient du fait qu'il permet de déterminer cette variété frontière en partant exclusivement des coefficients relatifs au régime stationnaire.

7. Théorème II. — *La variété frontière des points de l'espace des coefficients a_{ik} et b_{ik} qui sépare les points de fonctionnement stable des points de fonctionnement instable sans oscillations, la variété frontière* VRA, *est celle pour laquelle le déterminant des coefficients des équations homogènes relatives au régime stationnaire s'annule.*

En se référant au système d'équations (7) on voit aisément que les équations homogènes relatives au régime stationnaire sont les suivantes

$$\sum_{i=1}^{r} b_{ki} y_i = 0,$$

où $$k = 1, 2, 3, \ldots r.$$

D'après le théorème l'équation qui définit la variété VRA serait

$$\begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \ldots & b_{1r} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \ldots & b_{2r} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{r1} & b_{r2} & b_{r4} & \ldots & b_{rr} \end{vmatrix} = 0.$$

Pour résoudre le système d'équations différentielles (7), nous ne le ramènerons pas à une équation différentielle d'ordre r, dont l'équation (8) est l'équation caractéristique et l'expression (9), la solution générale, mais nous suivrons ici la méthode qui ramène le système (7) à un système dit de Cauchy, du nom de l'illustre géomètre qui les étudia. Les difficultés algébriques des deux méthodes sont pratiquement les mêmes, mais la forme du système de Cauchy d'équations différentielles permet une démonstration rapide du théorème énoncé. Soient

$y_{11}, y_{12}, y_{13}, \ldots y_{1r}$ un premier système d'intégrales des équations (7) ;

$y_{21}, y_{22}, y_{23}, \ldots y_{2r}$ un deuxième système d'intégrales ;

. . . . . .

$y_{r1}, y_{r2}, y_{r3}, \ldots y_{rr}$ un r^{me} système ;

supposons que tous ces systèmes soient linéairement indépendants, alors la matrice carrée $|y_{ik}|$ d'ordre r qu'on peut former avec ces r^2 éléments est une matrice intégrale du système d'équations différentielles (7) et l'on peut écrire, en employant les symboles du calcul par matrices,

$$\left|\frac{dy_{ik}}{dt}\right| \cdot \left|a_{ik}\right| = -\left|y_{ik}\right| \cdot \left|b_{ik}\right|.$$

Multiplions à droite les deux membres de cette équation par la matrice $|a_{ki}|^{-1}$, et nous aurons

$$\left|\frac{dy_{ik}}{dt}\right| = -\left|y_{ik}\right| \cdot \left|b_{ik}\right| \cdot \left|a_{ik}\right|^{-1} = \left|y_{ik}\right| \cdot \left|c_{ik}\right| \qquad (11)$$

où l'on a posé

$$-|b_{ik}| \cdot |a_{ik}|^{-1} = |c_{ik}|. \qquad (12)$$

Les éléments c_{ik} sont ici exactement les coefficients qui figurent dans le système canonique (9 bis) et l'équation (9 ter) rencontrés plus haut.

On démontre qu'on peut toujours déterminer une matrice $|h_{ik}|$ à déterminant non nul, telle que quand on effectue la transformation linéaire suivante sur les variables

$$|z_{ik}| = |y_{ik}| \cdot |h_{ik}|$$

on ramène le système différentiel (11) au système immédiatement intégrable

$$\left|\frac{dz_{ik}}{dt}\right| = \left|z_{ik}\right| \cdot \left|\varepsilon_{ik}\tau_k\right|, \qquad (13)$$

où $\varepsilon_{ik} = 0$ quand l'indice i est différent de l'indice k, et $\varepsilon_{ik} = 1$ quand $i = k$.

La matrice $|\varepsilon_{ik}\ \tau_k|$ est la transformée de la matrice $|c_{ik}|$ par la matrice $|h_{ik}|$

$$|\varepsilon_{ik}\tau_k| = |h_{ik}|^{-1} \cdot |c_{ik}| \cdot |h_{ik}|.$$

Si l'on passe des matrices aux déterminants, qu'on indiquera selon l'usage par deux barres droites de chaque côté, on a

$$\|\varepsilon_{ik}\tau_k\| = \|c_{ik}\|. \qquad (14)$$

On a ainsi une matrice intégrale sous la forme

$$|z_{ik}| = |\varepsilon_{ik} e^{\tau_k t}|.$$

Soit ψ_k la partie réelle de τ_k. Tant que tous les ψ_k, où $k = 1, 2, \ldots r$, sont négatifs, le régime est stable ; quand il y a une ou plusieurs valeurs de ψ_k qui sont positives le régime est instable. Or ψ_k est une fonction algébrique des coefficients a_{ik} et b_{ik} et, par conséquent, d'après un théorème classique, ψ_k est une fonction continue de ces mêmes coefficients a_{ik} et b_{ik} considérés comme variables indépendantes. Donc pour les points de la variété frontière VR, un au moins des ψ_k s'annule. Si, de plus, la partie imaginaire est nulle, on aura un point de la variété frontière VRA envisagée par le théorème ; mais alors $\tau_k = 0$ pour une valeur au moins de l'indice k et le déterminant $\|\varepsilon_{ik}\ \tau_k\|$ est nul aussi, car il est constitué par les éléments de la diagonale principale exclusivement. Donc, grâce à l'équation (14), on a

$$\|c_{ik}\| = 0.$$

Remontons à l'équation (12) d'où l'on peut tirer l'équation suivante pour les déterminants

$$\|b_{ik}\| \cdot \|a_{ik}\|^{-1} + \|c_{ik}\| = 0$$

et rappelons que la matrice $|a_{ik}|$ est constituée par les coefficients de self-induction et d'induction mutuelle. D'après un théorème classique ce déterminant est toujours positif et pratiquement il n'est jamais nul. Donc on aura nécessairement

$$\|b_{ik}\| = 0,$$

ce qui constitue la condition nécessaire du théorème ; il est facile de voir, en reprenant la suite du raisonnement développé plus haut, que cette condition est aussi la condition suffisante et le théorème est ainsi démontré.

II. Régime transitoire des métadynes. — 1. Etude du cas de la métadyne montée en Y. — Tous les montages de la métadyne peuvent être étudiés du point de vue du régime transitoire de la même manière et, pour la simplicité des écritures, nous considérons ici le montage en Y de la métadyne et, en premier lieu, nous admettons un stator sans enroulements autour des segments polaires principaux ; si l'on se conforme aux conventions simplificatrices du paragraphe I de l'article précédent, le couple résultant sur l'arbre est toujours nul (1), et à la place de la régulatrice nous supposons un petit moteur auxiliaire

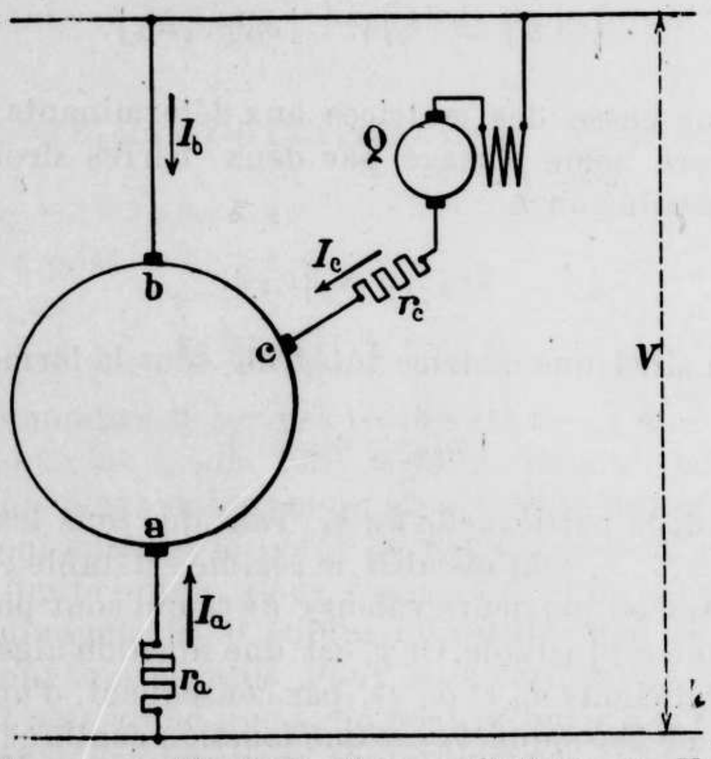


Fig. 1. — Montage d'une métadyne en Y conduisant une dynamo série.

capable seulement de vaincre les résistances de frottement et de maintenir ainsi la métadyne à la vitesse voulue sans agir autrement sur son fonctionnement. Il est maintenant indispensable de préciser la nature de l'appareil conduit, et nous admettons un moteur série (fig. 1) avec une résistance r_c en série ; de plus, sur le conducteur qui amène le courant I_a au balai a, nous admettons une résistance r_a. Soit M_m le coefficient de self-induction du moteur série et $\Omega K_m I_c$ la force électromotrice qu'il développe supposée uniquement proportionnelle au courant I_c et à la vitesse propre Ω ; K_m est donc une constante, supposée essentiellement positive.

Dans ces conditions la caractéristique fondamentale de la métadyne ne peut être qu'une droite

$$I_c = \text{constante};$$

par conséquent, comme il n'y aura pas de points conjugués de fonctionnement stationnaire, nous ne pourrons pas trouver de points instables à limite finie.

Nous adoptons les symboles définis au paragraphe III de l'article précédent et nous avons les équations suivantes du régime transitoire,

$$V_{ab} = V = Kg^2(\nu - 1) N I_c - \sum_{bc} M^{ab}_{ac'} \frac{dI_{bc}}{dt}$$

$$- \sum_{ca} M^{ca}_{c'b} \frac{dI_{ca}}{dt} - r_a I_a, \qquad (15)$$

$$0 = Kg^2(\nu - 1) N I_a - \sum_{ac'} M^{ac'}_{bc} \frac{dI_{ac'}}{dt}$$

$$+ M_m \frac{dI_c}{dt} - \Omega K_m I_c + r_c I_c. \qquad (16)$$

Appliquons le théorème I en prenant comme système de courants fictifs d'induit un système quelconque, par exemple le suivant

$$I_{ac'} = I_{c'b} = I_a,$$
$$I_{bc} = I_a + I_{b'},$$
$$I_{ca} = 0,$$

nous aurons après les simplifications et en tenant compte que

$$M^{ab}_{ab} = M^{ab}_{ac'} + M^{ab}_{c'b},$$
$$M^{ab}_{bc} = M^{ac'}_{bc} + M^{c'b}_{cb},$$

le système de deux équations différentielles suivantes,

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dI_a}{dt} M^{ab}_{ab} - \frac{dI_c}{dt} M^{bc}_{ab} + I_a r_a - I_c Kg^2(\nu - 1) N + V = 0, \\ &\frac{dI_a}{dt} M^{ab}_{ab} - \frac{dI_c}{dt}(M^{bc}_{bc} + M_m) - I_a Kg^2(\nu - 1) N \\ &\qquad - I_a (r_c - \Omega K_m) = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

(1) On peut raisonner comme il suit : Le stator est alors un anneau lisse à perméabilité uniforme, ne présentant donc aucune résistance si on le faisait tourner ; il n'est donc le siège d'aucun couple.

d'où l'on tire

$$\left.\begin{aligned} &I_a = A e^{\rho' t} + B e^{\rho'' t} + V \frac{r_c - \Omega K_m}{\gamma}, \\ &\text{si} \qquad \beta^2 - 4\alpha\gamma \neq 0, \\ &\text{et} \\ &I_a = C e^{-\frac{\beta}{\alpha} t} + D t e^{-\frac{\beta}{\alpha} t} + V \frac{r_c - \Omega K_m}{\gamma}, \\ &\text{si} \qquad \beta^2 - 4\alpha\gamma = 0, \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

où A, B, C et D sont des constantes à déterminer par les conditions initiales, et

$$\left.\begin{aligned} &\alpha = \left(M_{ab}^{bc}\right)^2 - M_{ab}^{ab}\left(M_{bc}^{bc} + M_m\right) \\ &\beta = -\left(M_{bc}^{bc} + M_m\right) r_a - M_{ab}^{ab}(r_c - \Omega K_m), \\ &\gamma = -\left[(K g^2 (\nu - 1) N)^2 + r_a r_c - \Omega K_m)\right], \\ &\rho' = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}, \quad \rho'' = \frac{-\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}. \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

Le courant I_c a une forme analogue à celle de I_a. Sur la figure 2 nous avons porté en abscisses la variable $x = r_c - \Omega K_m$, et en ordonnées y les diverses variables discutées. En premier lieu il faut remarquer que α est une valeur essentiellement négative ; posons donc $\alpha = -\theta^2$.

Pour peu que les valeurs initiales soient différentes des valeurs des mêmes variables en régime stationnaire, une au moins des deux constantes d'intégration doit être différente de zéro.

Supposons d'abord $\gamma \neq 0$, alors ni ρ' ni ρ'' ne peuvent être nuls ; par conséquent, on aura un point de fonctionnement stable ou un point de fonctionnement instable à limite infinie suivant que l'exposant du terme non nul a une partie réelle positive ou négative.

Or, γ est négatif pour toute la zone correspondant au fonctionnement pratique de la métadyne, car r_a, essentiellement positif, est très petit ; sur la figure 2 le point où la droite $\gamma\gamma$ coupe l'axe des abscisses correspond aux fortes valeurs négatives de $r_c - \Omega K_m$, non atteintes dans la pratique et le cas de γ négatif est le seul que nous discuterons. Alors le signe de la partie réelle de ρ'

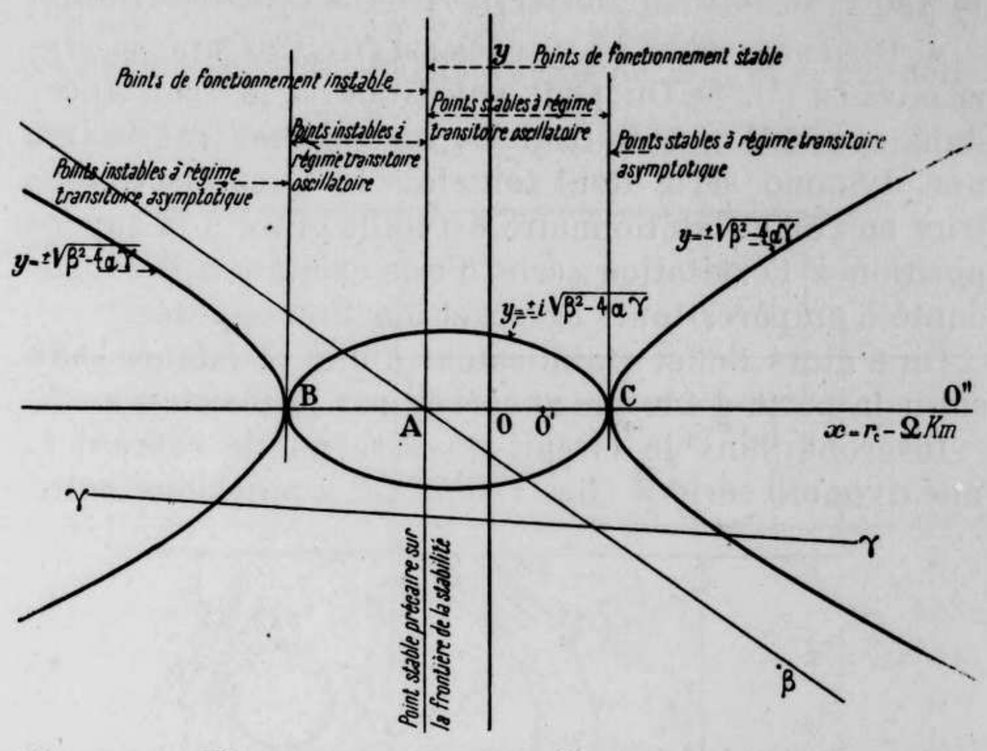


Fig. 2. — Diagramme des domaines d'instabilité pour le montage d'une métadyne en Y, les abscisses étant une quantité n, fonction linéaire de la vitesse Ω de la dynamo conduite par la métadyne.

et celui de ρ'' sont les mêmes que celui de β et le point A de fonctionnement, dont l'abscisse est

$$r_c - \Omega K_m = -r_a \frac{M_{bc}^{bc} + M_m}{M_{ab}^{ab}},$$

est un point stable de façon précaire à la limite de la stabilité ; à sa droite, le fonctionnement est stable ; à sa gauche, il est instable à la limite infinie, quelles que soient les conditions initiales.

Le régime transitoire sera apériodique ou oscillatoire suivant que $\sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}$ sera réel ou imaginaire ; pour les valeurs réelles la fonction $y = \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}$ est l'équation d'une hyperbole symétrique par rapport à l'axe des x et dont le centre a une abscisse négative.

Les points critiques B et C ont pour abscisses les valeurs

$$\frac{-r_a\left(M_{bc}^{bc} + M_m\right) M_{ab}^{ab} + 2\theta^2 r_a \pm \sqrt{\left[\left(M_{bc}^{bc} + M_m\right) M_{ab}^{ab} - 2\theta^2\right]^2 r_a^2 - \left(M_{ab}^{ab}\right)^2 \left[r_a^2\left(M_{bc}^{bc} + M_m\right) - 4\theta^2 (K g^2 (\nu - 1) N)^2\right]}}{\left(M_{ab}^{ab}\right)^2}$$

et séparent la région du régime transitoire oscillatoire de celle du régime transitoire apériodique Ici, quand les oscillations apparaissent on est avisé que le régime instable est proche.

Si la vitesse Ω du moteur série est grande et le sens de rotation, celui qui correspond à un fonctionnement en moteur, le régime stationnaire est très nettement stable et le régime transitoire éventuel est apériodique, c'est-à-dire s'il y a un trouble, le régime stationnaire se rétablit très rapidement. Si r_c reste constant et la vitesse Ω diminue et si l'on arrive au point C, les oscillations apparaîtront aussitôt que le régime stationnaire est troublé, mais elles seront toujours amorties. Quand la vitesse diminue encore et devient négative (c'est-à-dire le moteur série fonctionne en génératrice en récupérant de l'énergie) et au delà d'une certaine limite, le régime stationnaire devient instable avec régime transitoire oscillatoire d'abord et ensuite apériodique.

En supposant Ω nul et r_c variable le régime sera stable pour les valeurs élevées, positives, bien entendu, de cette résistance. Seulement pour des valeurs élevées

de la résistanc r_c le fonctionnement du moteur série en récupération et à grande vitesse serait stable.

2. Dixième mode de réalisation relatif a la dynamo stabilisatrice (1). — On peut substituer à la résistance, dans son action stabilisatrice en régime transitoire, une dynamo série dont toutefois la force électromotrice en régime stationnaire est nulle grâce à la superposition à l'excitation série d'une excitation indépendante à ampères-tours égaux et à action opposée.

On a alors l'effet stabilisateur d'une résistance sans subir la perte d'énergie absorbée par la résistance.

Insérons dans le circuit traversé par le courant I_c une dynamo série R (fig. 3) dont les connexions entre

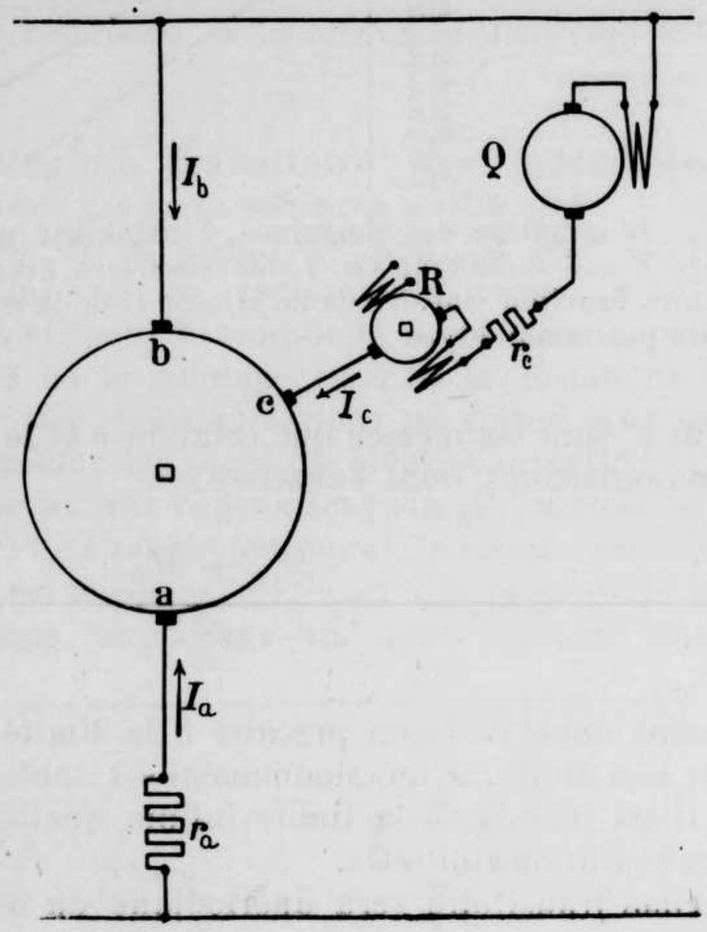


Fig. 3. — Montage d'une métadyne en Y conduisant une dynamo série avec insertion d'un dispositif tendant à rendre stable le fonctionnement.

induit et inducteurs série sont celles d'un moteur et ayant une excitation indépendante (2).

L'équation (15) reste inchangée.

Dans l'équation (16) il faudra faire figurer maintenant la force électromotrice due à la dynamo R. Nous supposons qu'elle est entraînée par le même petit moteur qui entraîne la métadyne (un petit carré au centre indique sur la figure que les machines relatives ont leurs arbres solidaires) et que le courant qui alimente l'excitation indépendante traverse une bobine d'inductance assez grande pour qu'on puisse la considérer comme constante ; alors les nouvelles forces électromotrices sont $NK_R I_c - V_R$ où K_R est une constante positive et V_R, la force électromotrice due à l'excitation indépendante, donc sensiblement constante. Pour le régime stationnaire l'expression précédente est nulle (aucune dépense d'énergie). A la place de l'équation (17) nous aurons alors

$$0 = Kg^2(\nu - 1)NI_a - \sum_{ac'} M_{bc}^{ac'} \frac{dI_{ac'}}{dt} + (M_m + M_R)\frac{dI_c}{dt} - (\Omega K_m - r_c - NK_{R'})I_c - V_R, \qquad (20)$$

où M_R est la self-inductance de la dynamo R.

Le régime permanent n'est pas modifié puisque l'expression des forces électromotrices est nulle, et les termes à exponentielle de l'expression du courant I_a pour le régime transitoire se déduisent de l'expression (18) en remplaçant partout $r_c - \Omega K_m$ par $r_c - \Omega K_m X + NK_R$. Tout se passe donc comme si la résistance r_c était augmentée de NK_R ; le point frontière A et les points critiques B et C de la figure 2 seront atteints alors seulement pour des valeurs positives de la vitesse Ω du moteur série Q fonctionnant en récupération, valeurs aussi grandes que l'on voudra, à condition de donner à NK_R une valeur convenable. Si sur la figure 2 on veut prendre comme abscisses ΩK_m, Ω étant la variable, on n'aura qu'à déplacer l'origine de O en O′, l'abscisse OO′ étant égale à r_c. Grâce à ce dixième procédé, l'abscisse est déplacée en O″ où O′ O″ est égal à NK_R et la vitesse Ω du moteur série Q pourra alors prendre toutes les valeurs négatives qu'en pratique elle peut atteindre sans sortir de la zone de stabilité.

3. Onzième mode de réalisation relatif aux enroulements stabilisateurs sur la métadyne. — On obtient un effet stabilisateur en régime transitoire comme avec une résistance en adoptant sur le stator de la métadyne des enroulements parcourus dans un sens convenable par le même courant qui aurait traversé la résistance en question. Considérons d'abord le cas particulier de la métadyne montée en Y conformément au schéma de la figure 4. Le stator est muni de deux enroulements dont l'un est parcouru par le courant I_c et l'autre, par un courant I_α dû à la tension constante de la ligne, supposé traversant une bobine d'inductance assez grande pour qu'il puisse être considéré sensiblement constant et de valeur telle qu'il crée des ampères-tours égaux et d'effet opposé à ceux que crée le courant I_c de l'autre enroulement statorique.

Dans ces conditions le régime stationnaire de la métadyne n'est nullement modifié par rapport à celui déterminé pour la disposition du schéma de la figure 1 ; on a donc un couple résultant nul, par conséquent, la métadyne pourra être entraînée par un petit moteur auxiliaire indépendant ; la caractéristique fondamentale est toujours I_c = constante. L'appareil conduit est encore une dynamo série Q.

Puisque I_α est supposé constant, le nombre des équations du régime variable se réduit encore à deux seulement. Pour simplifier nous admettons encore

$$S_B + S_A \equiv 0, \quad S_C + S_C' \equiv 0.$$

(1) Les autres modes de réalisation sont définis dans l'article précité. Joseph-Maxime Pestarini. *Loc. cit.*

(2) A la place del'excitation indépendante de la dynamo R on pourrait considérer une deuxième dynamo R ayant le même induit que la première et le même arbre, mais avec excitation indépendante exclusivement; si alors on néglige l'effet de la réaction d'induit de la dynamo R′, la supposition faite de la constance du courant de l'excitation indépendante de R′ sera tout à fait correcte.

Nous avons

$$S_A = S_{A1} I_c + S_{A2} I_a, \quad S_{c1} = S_{c'_1} I_c + S_{c'2} I_a,$$

où S_{A1}, S_{A2}, $S_{c'1}$, $S_{c'2}$ sont des constantes et où $\frac{dI_a}{dp}$ est sensiblement nul.

Les deux équations du régime variable s'écrivent, en adoptant les symboles de l'article précité,

$$V = NKg^2(\nu - 1) I_c + 2N\Lambda g [(S_{A1} + (\nu - 1) S_{c1}) I_c + (S_{A2} + (\nu - 1) S_{c'2}) I_a] - r_a I_a + - \sum_{bc} M_{ac'}^{bc} \frac{dI_{bc}}{dt} - \sum_{ca} M_{c'b}^{ca} \frac{dI_{ca}}{dt} - \sum_{A} M_{ac'}^{Ac} \frac{dI_c}{dt} - \sum_{A} M_{c'b}^{Ac} \frac{dI_c}{dt}; \quad (21)$$

$$V_{bc} = \Omega K_m I_c - r_c I_c - M_m \frac{dI_c}{dt} = NKg^2(\nu - 1) I_a - 2N\Lambda g (S_{A1} I_c + S_{A2} I_a) + - \sum_{ac} M_{bc}^{ac'} \frac{dI_{ac'}}{dt} - \sum_{A} M_{bc}^{Ac} \frac{dI_c}{dt} - \sum_{A} \sum_{ac'} M_{Ac}^{ac'} \frac{dI_{ac}}{dt} - \sum_{A} \sum_{B} M_{Ac}^{Bc} \frac{dI_c}{dt}. \quad (22)$$

En partant des hypothèses simplificatrices établies au début de l'article précité, et en vertu du théorème II on obtient, toutes opérations effectuées, deux équations différentielles dont les équations homogènes correspondantes sont

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dI_a}{dt} M_{ab}^{ab} + \frac{dI_c}{dt}\left[2\left(M_{ac'}^{c'c} + M_{c'b}^{Ac}\right) - M_{ab}^{bc}\right] + r_a I_a \\ &- I_c[NKg^2(\nu-1) + 2N\Lambda g(S_{A1} + (\nu-1)S_{c'1})] = 0, \\ &\frac{dI_a}{dt}\left[M_{bc}^{ab} + 2\left(M_{Ac}^{c'b} + M_{c'c}^{Ac}\right)\right] + \frac{dI_c}{dt}\left[4\left(M_{Ac}^{Ac} + M_{c'c}^{c'c}\right) - M_{bc}^{bc} - M_m\right] - I_a NKg^2(\nu - 1) \\ &- I_c(r_c - \Omega K_m - 2N\Lambda g S_{A1}) = 0. \end{aligned}\right\} \quad (23)$$

Posons

$$S_{A1} + (\nu - 1) S_{c1} = 0,$$
$$M_{bc}^{ab} + 2M_{Ac}^{c'b} + 2M_{c'c}^{ac'} = \bar{M}_{bc}^{ab},$$
$$M_m - 4\left(M_{Ac}^{Ac} + M_{c'c}^{c'c}\right) = \bar{M}_m,$$
$$\bar{r}_c = r_c - 2N\Lambda g S_{A1},$$

et nous pourrons alors écrire les deux équations différentielles (23) de la façon suivante

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dI_a}{dt} M_{ab}^{ab} - \frac{dI_c}{dt} \bar{M}_{bc}^{ab} + I_a r_a - I_c NKg^2(\nu - 1) = 0, \\ &\frac{dI_a}{dt} \bar{M}_{bc}^{ab} - \frac{dI_c}{dt}\left[M_{bc}^{bc} + \bar{M}_m\right] - I_a NKg^2(\nu - 1) \\ &- I_c(\bar{r}_c - \Omega K_m) = 0, \end{aligned}\right\} \quad (24)$$

même forme que les équations correspondantes du système (17). Nous avons donc les mêmes résultats (18), mutatis mutandis, en remplaçant partout M_{ab}^{bc} par la valeur de $\bar{M}_{bc}^{ab}$, M_m par la valeur de $\bar{M}_m$, et r_c par celle de $\bar{r}_c$. Si S_{A1} est négatif, ce qui accroît l'effet stabilisateur de la résistance r_c, on voit que α ici encore est essentiellement négatif ; en effet

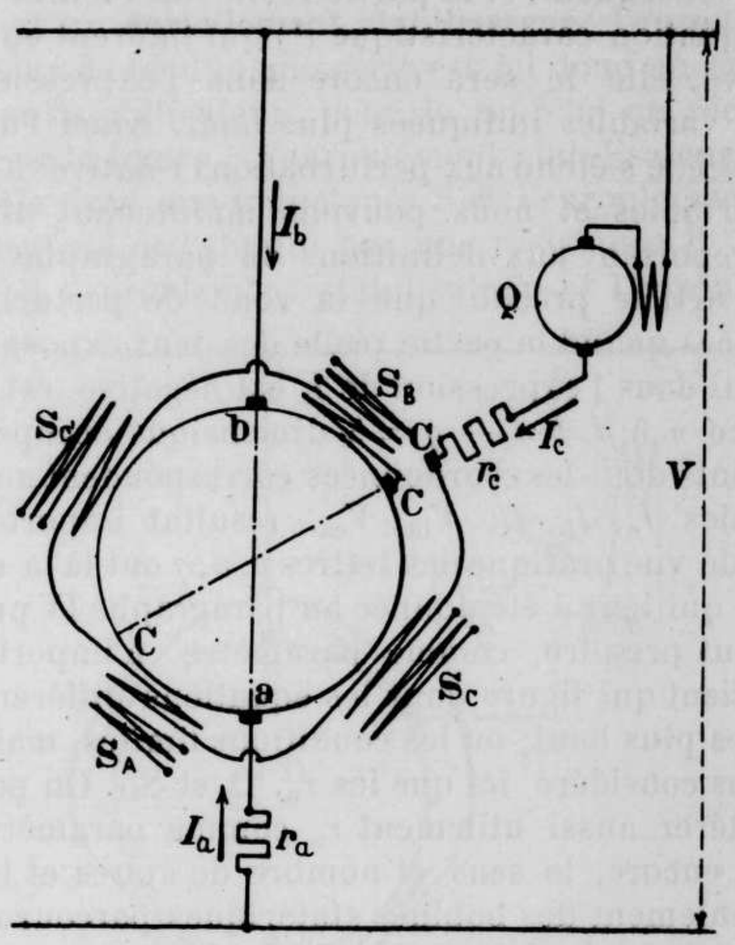


Fig. 4. — Montage d'une métadyne en Y conduisant une dynamo série et pourvue d'enroulements stabilisateurs.

$$\alpha = \left[M_{bc}^{ab} + 2M_{Ac}^{c'b} + 2M_{c'c}^{ac'}\right]^2 - M_{ab}^{ab} M_{bc}^{bc} - M_{ab}^{ab}\left[M_m - 4\left(M_{Ac}^{Ac} + M_{c'c}^{c'c}\right)\right]$$

et l'on vérifie facilement que $M_{Ac}^{c'b}$ et $M_{c'c}^{ac'}$ sont négatifs, et en valeur absolue, en général, très supérieurs respectivement à M_{Ac}^{Ac} et $M_{c'c}^{c'c}$.

Par conséquent, le diagramme de la figure 2 s'applique encore ici à condition, bien entendu, de remplacer les trois symboles indiqués plus haut par les nouvelles valeurs ; en particulier, même avec une faible valeur de la résistance r_c, on aura une grande valeur positive de $\bar{r}_c$ en augmentant le nombre de spires S_{A1}, de sorte que la stabilité est obtenue même pour des grandes valeurs de Ω, c'est-à-dire même quand le moteur série fonctionnera en récupération à grande vitesse.

Souvent, dans la suite, nous appellerons ces enroulements statoriques de la métadyne qui rendent son fonctionnement stable, enroulements statoriques « stabilisateurs », quoique ces enroulements contribuent aussi en général à la détermination du fonctionnement en régime statique.

4. Généralisation des résultats qui précèdent. — Dans les deux exemples que nous venons de traiter, les variables fonctions du temps sont les courants I_a, I_b, I_c et les tensions V_{bc} et V_{ca} dont l'expression en fonction du temps est une fonction linéaire de l'expression de I_a et de ses dérivées successives par rapport au temps.

Par conséquent, si la partie réelle des racines ρ' et ρ'' de l'équation caractéristique (1) qui figurent en I_a est négative, elle le sera encore dans l'expression des autres variables indiquées plus haut. Ainsi l'analyse qui précède s'étend aux perturbations relatives à toutes ces variables et nous pouvons maintenant dire, en nous reportant aux définitions du paragraphe IV de notre article précité que la zone de perturbations résorbées quand la partie réelle des deux exposants qui figurent dans l'expression de I_a est négative, est « tout l'espace » à $p = n - q = 5$ dimensions occupées par les points dont les coordonnées correspondent aux cinq variables I_a, I_b, I_c, V_{bc}, V_{ca}, résultat important au point de vue pratique (les lettres p, n, q ont là la signification qui leur a été donnée au paragraphe IV précité). On peut prendre, comme paramètre, n'importe quel coefficient qui figure dans les équations différentielles établies plus haut, ou les conditions limites, mais nous n'avons considéré ici que les r_a, Ω et S_{A1}. On pourrait considérer aussi utilement r_a comme paramètre, et, mieux encore, le sens et nombre de spires et le sens d'enroulement des bobines statoriques parcourues par les courants I_a, I_b; on aurait ainsi d'autres enroulements stabilisateurs ; et le cas général où l'on considère tous les enroulements statoriques stabilisateurs, en nombre égal à celui des balais, peut être traité de la même manière, les écritures seules deviennent plus longues.

5. Cas général d'une métadyne a nombre quelconque de balais. — Dans l'étude du cas général d'une métadyne à nombre quelconque de balais, il convient, pour simplifier, de désigner par

$$- M_k^h \frac{dx_h}{dt}$$

la force électromotrice induite dans l'enroulement d'indice k par la variation du courant x_h parcourant l'enroulement d'indice h, par $N_k^h x_h$ la force électromotrice induite dans l'enroulement d'indice k par le courant x_h résultant d'un déplacement relatif de l'enroulement k par rapport à l'enroulement h (2), et par V_k la différence de potentiel appliquée aux bornes de l'enroulement k par le réseau supposé de capacité infinie.

Si l'on admet les hypothèses formulées au paragraphe I de l'article précité, toutes les équations du régime transitoire qu'on établira en supposant le phénomène électrique transitoire assez rapide pour que l'inertie des masses n'intervienne pas (1) seront de la forme

$$- \sum_h M_k^h \frac{dx_h}{dt} + \sum_h N_k^h x_h = V_k, \qquad (25)$$

où $$k \text{ et } h = q+1, q+2, \ldots n,$$

k prenant toutes les $p = n - q$ valeurs. La solution du système des équations différentielles homogènes correspondante ne présente que des difficultés algébriques quand le système comporte plus de quatre équations et le problème posé pratiquement en valeurs numériques est le plus souvent résoluble, surtout si l'on se contente de résultats approximatifs. Quoi qu'il en soit, cette solution est une combinaison linéaire à coefficients constants des termes $e^{\alpha h}$, $t^m e^{\alpha h}$ où m est un entier. En adoptant des enroulements calculés et disposés pour que tous les exposants α aient une partie réelle négative pour toute l'étendue de la zone du fonctionnement pratique, on aura obtenu la stabilité avec une zone des perturbations résorbées s'étendant à toutes les valeurs réelles des variables x_h. C'est cette méthode qui constitue le principe même de l'onzième procédé. Si l'on ne peut pas rendre négatives les parties réelles de tous les exposants, la zone des perturbations résorbées se limitera à cet espace pour lequel les constantes d'intégration relatives aux exponentielles à partie réelle non négative, sont nulles.

Toutefois comme les constantes d'intégration sont des fonctions linéaires des valeurs initiales des variables, c'est-à-dire des quantités $(x_h)_{t=0}$, l'annulation de quelques-unes de ces constantes d'intégration équivaut, en général, à relier les quantités $(x_h)_{t=0}$ par des équations linéaires. Soient b le nombre de ces équations et p le nombre des variables x_h, la zone des perturbations résorbées est comprise dans un espace à p dimensions et elle a $p - b$ dimensions. Pour qu'il y ait stabilité il faudra que le point de départ

$$P\left((x_{q+1})_{t=0}, \quad (x_{q+2})_{t=0}, \ldots (x_n)_{t=0}\right),$$

soit situé sur cette zone à $p - b$ dimensions, sur laquelle sera situé le point d'arrivée

$$P\left((x_{q+1})_{t=\infty}, \quad (x_{q+2})_{t=\infty}, \ldots (x_n)_{t=\infty}\right),$$

et si l'on veut suivre ce même point à un temps quelconque on le verra glisser toujours le long de cette zone des perturbations résorbées à $p - b$ dimensions. Donc nous n'aurons obtenu ainsi que des points stables d'une façon précaire.

Cette zone de perturbations résorbées à $p - b$ dimensions se déplace dans l'espace à p dimensions quand la valeur des paramètres varie (comme, par exemple, la vitesse des appareils conduits).

(1) Pour le cas général où $\gamma \neq 0$, il y a deux racines ρ' et ρ'' ; si $\gamma = 0$, il y en a une seule.

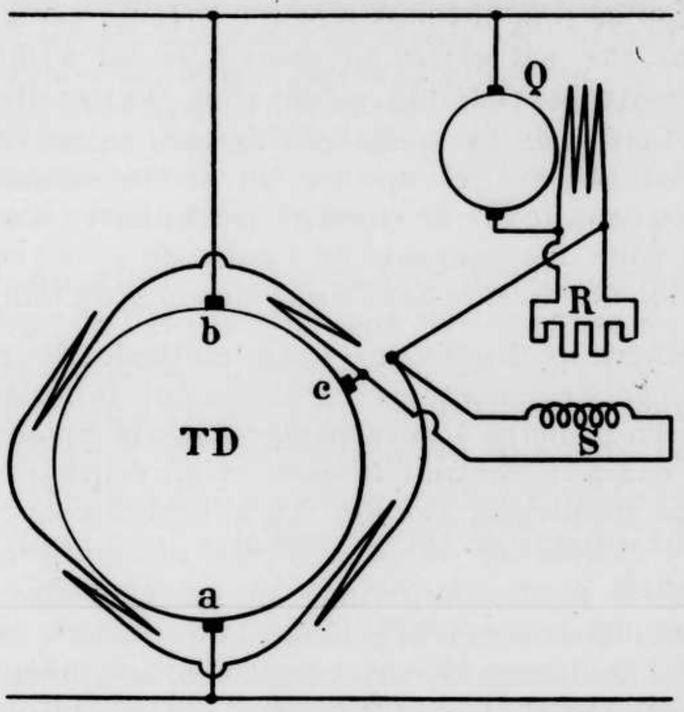
(2) La première est une force électromotrice induite par effet statique, et la seconde, par effet dynamique.

(1) L'équation de la régulatrice qui n'est pas linéaire en général comme nous l'avons vu dans le paragraphe IV de l'article précité, ne figurerait pas, à la suite de cette hypothèse, parmi les équations différentielles, mais elle servirait uniquement à l'établissement des conditions limites

Pour obtenir la stabilité nette sans résoudre le problème algébrique qui se ramène à l'étude du système des équations différentielles, il suffira de s'assurer que la partie réelle de toutes les racines reste négative sur l'étendue du fonctionnement pratique.

L'établissement explicite des équations différentielles suffit à donner des indications sur l'effet stabilisateur d'un enroulement par la comparaison des termes relatifs à cet enroulement avec les termes dus à la chute de tension non inductive dans les résistances.

Enfin, guidé par l'intuition, on pourra simplifier le problème algébrique et réduire le nombre d'équations différentielles en supposant constants certains courants dont l'influence sur le régime transitoire est jugée négligeable ou, tout au moins, non prépondérante.



Fig, 5. — Montage d'une métadyne en Y conduisant une dynamo série avec dispositifs augmentant la stabilité du fonctionnement.

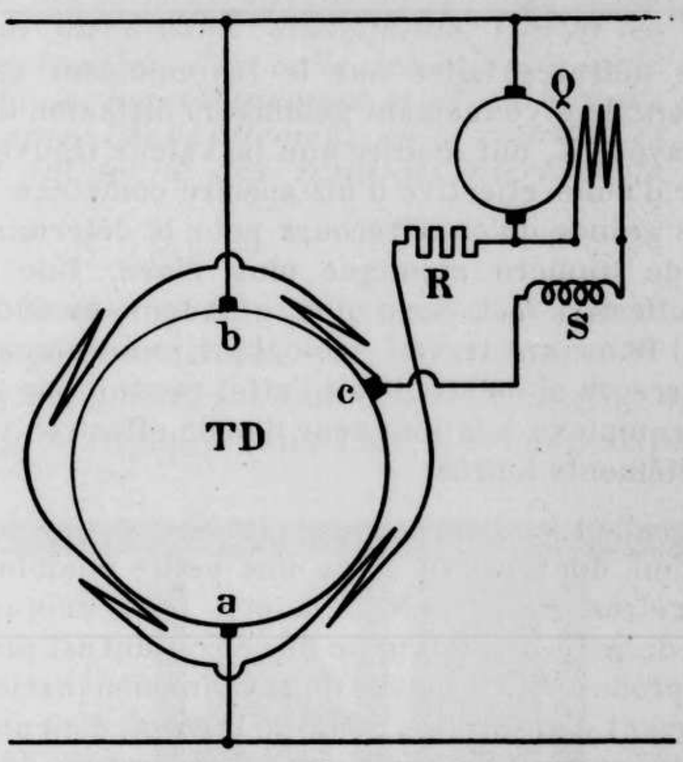


Fig. 6. — Autre montage d'une métadyne en Y conduisant une dynamo série avec dispositifs augmentant la stabilité du fonctionnement.

6. Douzième mode de réalisation relatif aux perfectionnements des enroulements stabilisateurs. — Par opposition aux enroulements stabilisateurs définis plus haut, nous appellerons enroulements « antistabilisateurs » les enroulements d'excitation qui induisent une force électromotrice tendant à rendre instable le régime stationnaire.

Le douzième procédé de réalisation est le suivant : on améliore en général les conditions de stabilité en shuntant un enroulement antistabilisateur par une résistance à faible self-inductance, en entourant le circuit magnétique embrassé par l'enroulement antistabilisateur par un secondaire en court-circuit, en shuntant les enroulements stabilisateurs par des inductances à faible résistance ; en combinant plus d'une de ces dispositions.

Sur les figures 5 et 6 sont représentés deux schémas montrant l'application de ce principe. Une métadyne TD y est montée en Y avec une dynamo série Q qui est l'appareil conduit, cette dernière étant supposée fonctionnant comme une génératrice en récupération. Sur le stator de la métadyne est représenté uniquement un enroulement stabilisateur ; l'enroulement inducteur de la dynamo série est ici donc un enroulement antistabilisateur, pour la marche en récupération. Sur la figure 5 l'enroulement stabilisateur est en parallèle avec une inductance S et l'enroulement antistabilisateur est shunté par une résistance R. Sur la figure 6 l'enroulement stabilisateur et l'enroulement antistabilisateur sont combinés entre eux par leur couplage en parallèle, le premier étant, d'autre part, en série avec une résistance R et le deuxième, avec une inductance S.

Un cas particulier à signaler est celui où l'enroulement stabilisateur et l'enroulement antistabilisateur embrassent le même circuit magnétique. En appliquant alors le douzième procédé on peut avoir, en définitive, un ensemble qui ait une action stabilisatrice en régime variable et une action nulle en régime stationnaire et ceci, même dans le sens de l'enroulement antistabilisateur.

Remarque. — Nous avons systématiquement négligé les condensateurs à cause de leur faible influence pratique ; mais on pourrait facilement leur appliquer les raisonnements et les procédés de calcul développés dans cette étude.

(*A suivre*).

Joseph-Maxime Pestarini.

Revues, analyses et informations

Sur la distribution spatiale du rayonnement gamma du radium dans les milieux dispersifs légers (1).

1. L'exploration à l'aide d'une petite chambre d'ionisation d'un milieu dispersif comme l'eau, soumis au rayonnement gamma du radium, montre que la longueur d'onde effective du rayonnement gamma secondaire de l'eau est trois fois plus grande que la longueur d'onde effective du rayonnement gamma primaire, ce qui constitue une vérification indirecte du phénomène essentiel de la théorie de A.-H. Compton, augmentation de la longueur d'onde dans la diffusion.

2. Les mesures faites sur le rayonnement gamma du radium, sur le rayonnement gamma de diffusion de l'eau et sur les rayons X, ont montré que la valeur trouvée pour la longueur d'onde effective d'un spectre complexe est d'autant plus grande qu'on a recours pour la déterminer à des écrans de numéro atomique plus élevé. Une longueur d'onde effective est donc une grandeur essentiellement relative. Dans un travail biologique on commettrait de graves erreurs si on attribuait l'effet produit par un rayonnement complexe à la longueur d'onde effective obtenue à l'aide d'éléments lourds.

3. Le calcul et l'expérience établissent que le courant d'ionisation dont est le siège une petite chambre de 2 à 3 centimètres cubes est dû, à peu près uniquement, à l'« effet de paroi »; l'intensité de ce courant est proportionnelle au produit de l'intensité du rayonnement excitateur par le coefficient d'absorption vraie de la paroi, d'où une double sélectivité, puisque le coefficient d'absorption dépend à la fois de la longueur d'onde du rayonnement et du numéro atomique de l'élément employé. Il serait donc incorrect d'utiliser, pour diriger des traitements radiothérapeutiques, des courbes d'isodoses relevées avec des récepteurs de numéro atomique élevé ayant par suite une sensibilité spectrale très différente de celle des tissus vivants.

4. Dans les milieux dispersifs existe, à côté du rayonnement gamma primaire, un rayonnement gamma diffusé plus « mou ». Par suite de la sélectivité d'une petite chambre en fonction de la longueur d'onde, à intensités égales, le rayonnement gamma diffusé produit un courant plus intense que le rayonnement gamma primaire; à cause de la sélectivité en fonction du nombre atomique, cette dyssymétrie des effets augmente avec le poids atomique de la paroi. Si l'on prenait comme mesure de l'intensité du rayonnement à l'intérieur d'un milieu dispersif l'intensité, sans correction, du courant d'ionisation, on aboutirait à des résultats paradoxaux. Quand on l'explore avec une chambre à paroi d'aluminium, une masse d'eau de dimensions suffisantes paraît très transparente aux rayons gamma, en sorte qu'on devrait lui attribuer un coefficient d'absorption nul; pour interpréter des explorations exécutées avec des chambres à parois de métaux lourds, on serait même conduit à attribuer à l'eau des coefficients d'absorption négatifs.

5. L'auteur a mesuré, en valeur absolue, l'énergie qu'émet, par seconde, sous forme de rayons gamma, un gramme de radium-élément, par la méthode d'ionisation au moyen d'une chambre d'ionisation contenant de l'air sous pression. Il a ainsi obtenu $E = 1{,}08 \times 10^{+5}$ ergs : s, valeur qui concorde avec celle qu'Ellis et Wooster ont obtenue par une méthode calorimétrique. — A. B.

(1) Marc Bruzau. *Annales de Physique*, janvier 1929, t. XI, p. 5-140, 41 500 mots, 40 figures, 20 tableaux.

Expériences sur les anomalies apparentes de la loi d'Ohm appliquée aux métaux dans le cas de grandes densités de courant (1).

1. Introduction. — Un certain nombre de travaux ont été effectués pour éprouver la validité de la loi d'Ohm dans le cas d'un conducteur métallique traversé par un courant correspondant à une densité très élevée. Tous ces essais, à l'exception de l'un des plus récents, exécuté par Bridgman, indiquent que, s'il existe un écart à la loi d'Ohm, il doit être excessivement faible, même pour des densités de courant de l'ordre de 10^7 A : cm^2. Bridgman, au contraire, prétend avoir observé et mesuré un accroissement net de résistance dans le cas de couches pelliculaires d'or et d'argent, et pour des courants de l'ordre de 10^6 A : cm^2, après élimination des erreurs dues à une élévation de température.

2. Méthode de Bridgman. — La méthode de recherche adoptée par Bridgman est extrêmement ingénieuse. Elle consiste en principe à faire passer dans la couche pelliculaire un courant continu intense et un courant alternatif de petite fréquence audible La différence de potentiel entre les extrémités de la pellicule est compensée dans un circuit à pont, comportant un galvanomètre à cadre mobile et deux écouteurs téléphoniques. Les résistances assurant l'équilibre étaient exactement les mêmes pour le courant alternatif et pour le courant continu jusqu'à ce que la densité de courant atteigne 10^5 à 10^6 A : cm^2, mais pour des valeurs supérieures on observait de petites différences. Les résultats observés suggèrent qu'aux très grandes densités de courant, la courbe de la différence de potentiel en fonction de l'intensité du courant n'est plus une droite, mais qu'elle présente une pente légèrement croissante.

Bridgman nota que cette anomalie apparente de la loi d'Ohm est fonction de la fréquence du courant alternatif et diminue lorsque la fréquence croît. Il en conclut que cet effet était dû à un chauffage et un refroidissement périodiques de la pellicule sous l'action du courant alternatif. Afin d'éliminer l'erreur ainsi introduite, il exécuta une série de mesures avec un courant de densité donnée, et diverses fréquences comprises entre 3 750 p : s et 320 p : s. On pouvait ensuite extrapoler pour le cas d'une fréquence infinie, et en déduire la valeur exacte de l'anomalie de la loi d'Ohm.

L'auteur a repris ces expériences, avec certaines améliorations.

Le perfectionnement le plus important consiste dans l'emploi d'un amplificateur à quatre lampes en liaison avec le récepteur téléphonique, permettant l'emploi de courants alternatifs d'intensité considérablement plus petite que précédemment à des fréquences de 1 000 à 14 000 p : s.

3. Conclusion. — La loi d'Ohm est exacte pour un conducteur d'or parcouru par un courant de densité égale à 2×10^6 A : cm^2, pouvant même probablement atteindre 3×10^6 A : cm^2. La même conclusion a lieu pour le platine, jusqu'à $1{,}3 \times 10^5$ A : cm^2. — L. B.

(1) H.-M. Barlow. *The philosophical Magazine*, mai 1930, t. IX (7e série), p. 1041-1055, 3 000 mots, 11 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Coffrets pour petits moteurs

Les coffrets de manœuvre pour petits moteurs qui font l'objet de cet article sont équipés avec un relais thermique à lame bimétallique assurant le déclenchement de l'interrupteur, soit lorsque la tension baisse ou s'annule, soit en cas de surintensité de courant. Pour faire ressortir l'intérêt de cette solution, l'auteur montre d'abord l'absence de sécurité qu'offrent les fusibles et les inconvénients des électroaimants à action retardée par un mécanisme quelconque. Parmi les diverses catégories de relais thermiques qui peuvent être envisagées, c'est celle des relais à lame bimétallique qui retient l'attention de l'auteur : il en étudie le fonctionnement et il établit les équations caractéristiques de ce fonctionnement, relations entre l'échauffement, ou le courant, et le temps. Des applications de ce relais ont été réalisées et ont donné des résultats intéressants aux essais.

I. **Introduction.** — Le rapide développement des applications de l'électricité peut être la cause de graves dangers si quelques précautions ne sont pas prises. Rappelons qu'un courant de 30 à 100 mA traversant certains organes du corps humain entraîne la mort. Un tel courant est obtenu avec une tension de 40 à 50 v entre le conducteur et la terre si les mains qui touchent le fil sont humides et si les pieds baignent dans l'eau. Or, sur les réseaux de distribution à basse tension sont montés des interrupteurs, des organes de coupure automatique (disjoncteurs ou coupe-circuit) sans protection et dont le fonctionnement s'accompagne parfois d'arcs violents qui ne provoquent pas seulement des incendies, mais occasionnent des blessures.

Il y a lieu de remarquer que souvent les canalisations et l'appareillage sont placés dans des locaux poussiéreux et humides, quelquefois à l'air libre; l'isolement n'est pas toujours très bon et les installations sont généralement utilisées par des personnes inexpérimentées.

L'emploi de fusibles dans des cartouches, d'interrupteurs ou disjoncteurs recouverts d'une boîte en matière isolante ne répond qu'imparfaitement à la protection contre les accidents. Aussi l'orientation technique actuelle est d'enfermer complètement les appareils et même, dans certains cas, les fils ou barres nus dans des coffrets métalliques soigneusement mis à la terre et d'éviter le plus possible que l'abonné ait à intervenir pour la réparation d'un appareil à la suite de son fonctionnement, tel que le remplacement des fusibles par exemple.

Les tableaux blindés (fig. 1) à basse tension, destinés à assurer cette protection ne sont pas encore très fréquemment employés en France, même dans les industries où cette disposition peut rendre de grands services. Par contre, la commande des petits moteurs, qui sont si répandus, s'effectue de plus en plus par de l'appareillage sous coffret et c'est cet appareillage que nous nous proposons de décrire ici.

II. **Coffrets avec coupe-circuit pour petits moteurs. Généralités.** — 1. Disposition. — On rencontre actuellement surtout des coffrets (fig. 2) contenant un interrupteur dans l'air, des coupe-circuit, cet

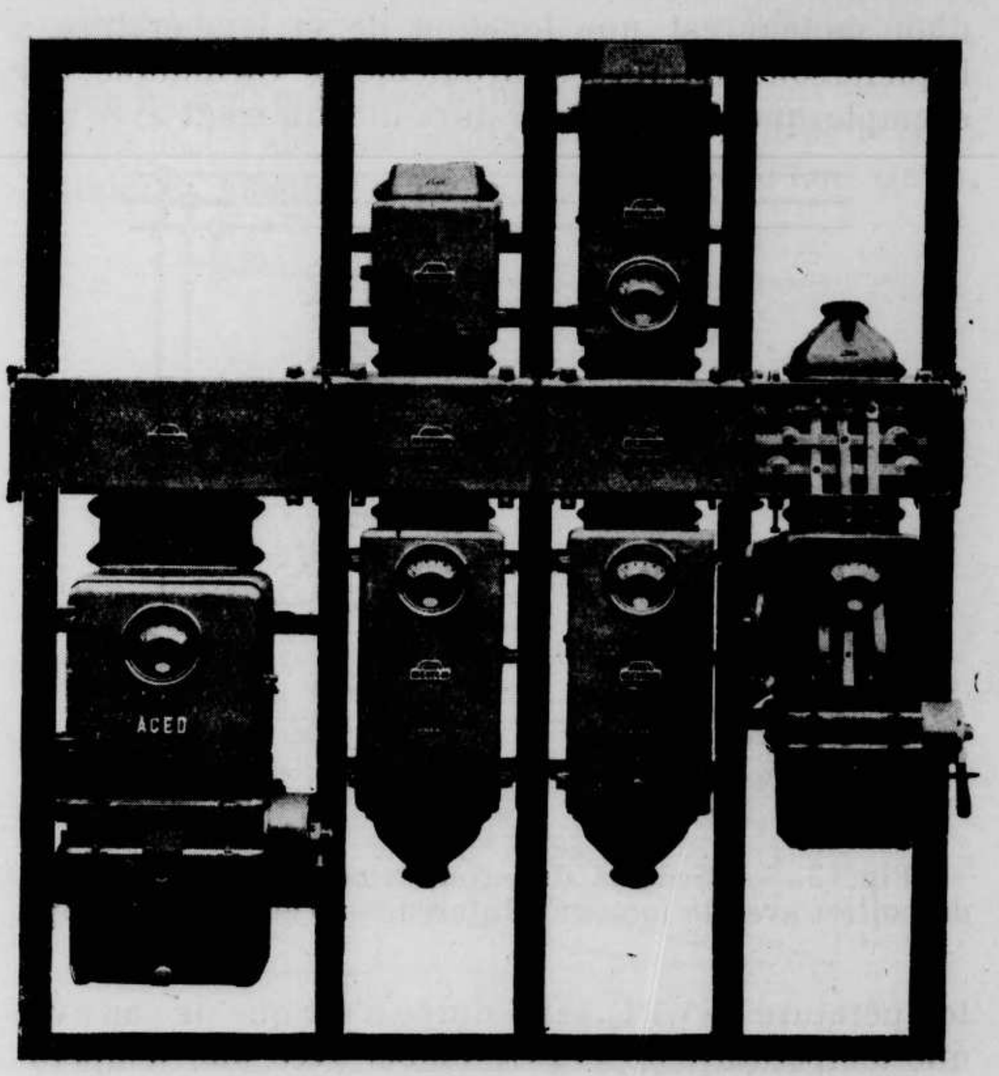


Fig. 1. — Vue d'un tableau comportant des appareils et des connexions blindés.

ensemble remplaçant les anciens petits tableaux en marbre qui portaient les mêmes organes accessibles à tout contact.

L'interrupteur peut être à un temps (fig. 3) ou à deux temps dans le cas de démarrage des moteurs à rotor en court-circuit, les fusibles étant en court-circuit au premier temps (fig. 4), et dans le cas de mise en marche

des moteurs qui démarrent en étoile-triangle (fig. 5). De tels coffrets n'ont que l'avantage d'être simples et peu coûteux. Bien qu'il en existe d'une réalisation ingénieuse et soignée, nous verrons que, dans bien des cas, ces coffrets ne répondent pas aux conditions de la

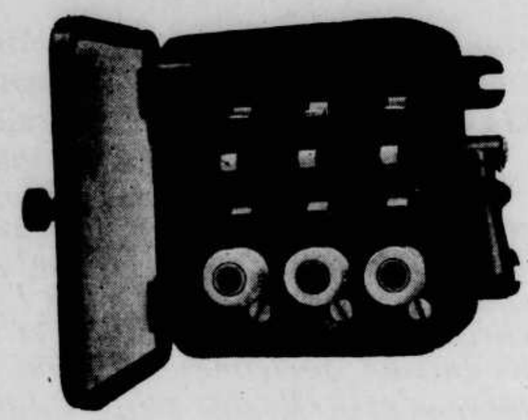


Fig. 2. — Vue d'un coffret avec coupe-circuit.

meilleure utilisation des moteurs et de l'exploitation offrant au maximum les garanties de sécurité, d'économie et de simplicité. Sur tous ces points le coffret avec relais thermique représente, le plus souvent, un progrès considérable.

2. Conditions de conservation d'un moteur. — La durée d'un moteur est une fonction de la température à laquelle sont soumis ses enroulements. On indique, par exemple, que si un moteur dure indéfiniment avec une

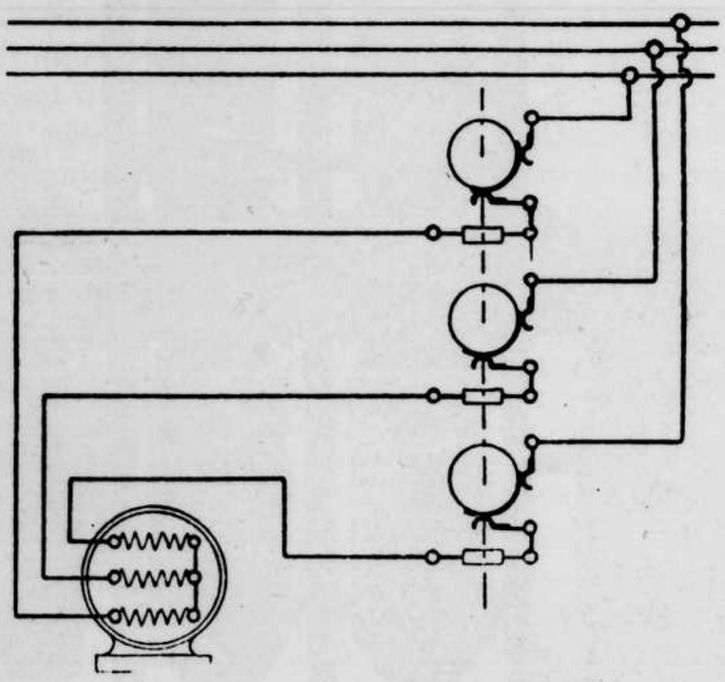


Fig. 3. — Schéma des connexions des appareils du coffret avec le moteur, l'interrupteur étant à un temps.

température de 95°C, cette durée n'est que de 1 an avec une température de 115°C; 6 mois avec une température de 120°C; 8 jours avec une température de 150°C; 2 heures avec une température de 180°C; 15 minutes avec une température de 200°C; 1 minute avec une température de 240°C.

Les moteurs ont leur rendement et leur facteur de puissance maxima à pleine charge ; il y a donc intérêt à les faire fonctionner au voisinage de ce régime. Les règlements imposent que l'échauffement ne dépasse pas pour ce régime 55°C et que, pour une bonne conservation des isolants, la température ne dépasse pas 95°C ; les courbes de la figure 6 montrent les variations de l'échauffement d'un moteur en surcharge.

Si on se fixe une température ambiante de 20°C et qu'on suppose le moteur froid, en adoptant comme température maximum admissible celle des règle-

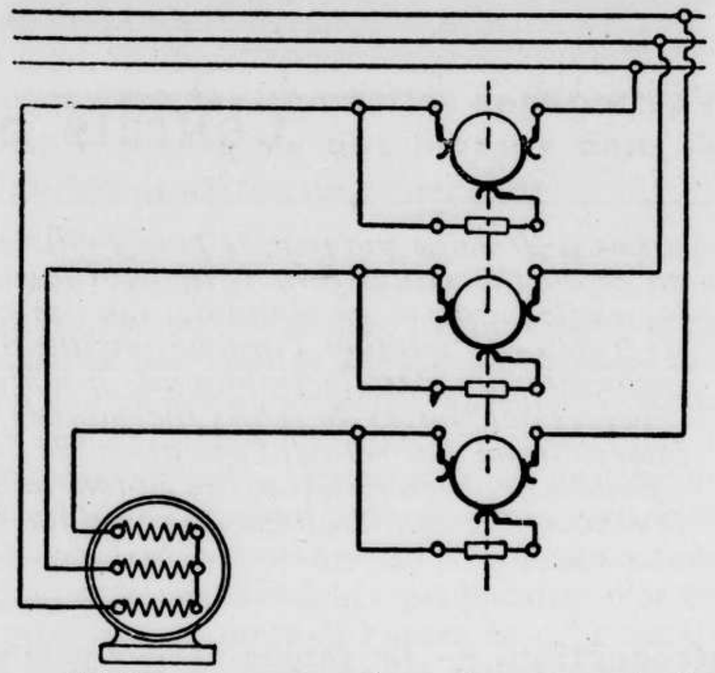


Fig. 4. — Schéma des connexions des appareils du coffret avec le moteur : mise en court-circuit des fusibles au démarrage.

ments (95°C), les moteurs peuvent en général supporter un courant de surcharge égal à n fois le courant nominal pendant un temps t, en secondes, défini par

$$t = \frac{400 \text{ à } 500}{n^2}.$$

Si, pour la même température ambiante, le moteur est à la température de régime, soit $20 + 55 = 75$°C,

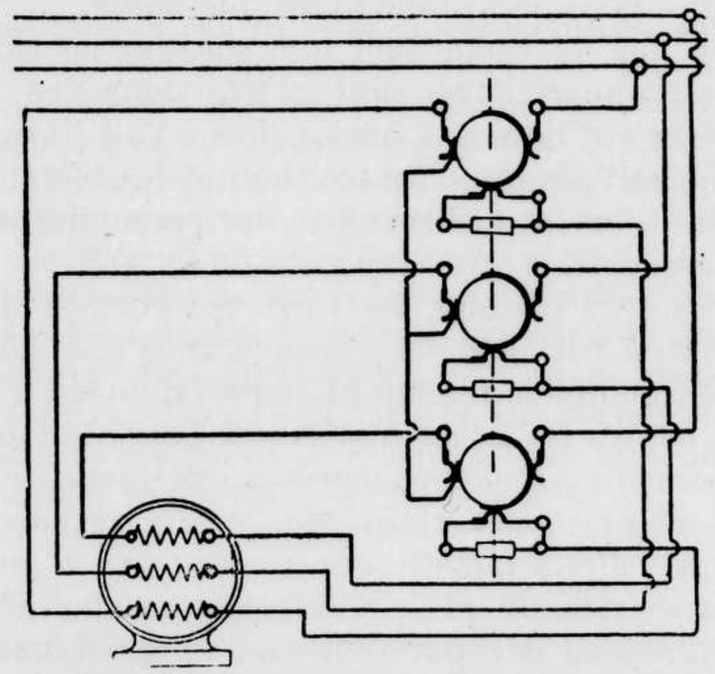


Fig. 5. — Schéma des connexions des appareils du coffret avec moteur démarrant en étoile-triangle.

la durée t de la surcharge avec un courant égal à nI_n est donnée par

$$t = \frac{70 \text{ à } 80}{n^2}, \text{ en secondes.}$$

Les moteurs ne fonctionnent pas toujours en service continu, mais le plus souvent en service interrompu,

intermittent ou temporaire et, dans ces cas, les moteurs doivent pouvoir être utilisés avec des courants variables dont l'intensité dépasse, pendant de longs instants, l'intensité du courant nominal. Il est donc utile de faire suivre la variation de température d'un moteur

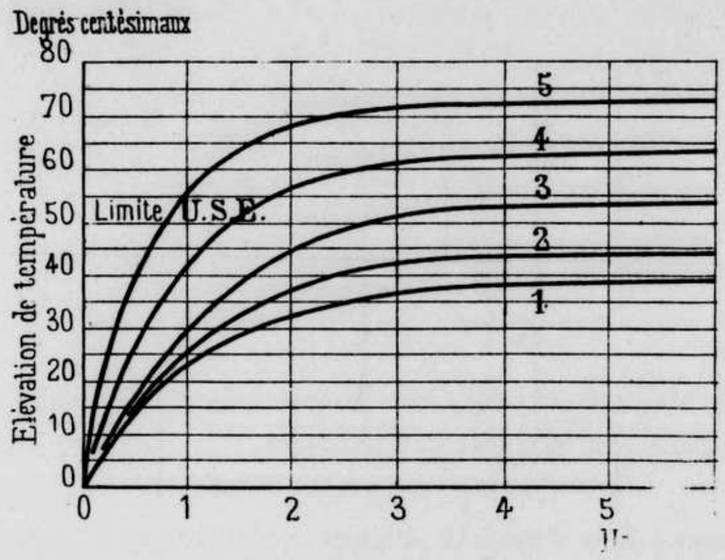


Fig. 6. — Courbes d'échauffement d'un moteur de 1 ch, 115/220 v, 50 p:s, suivant la surcharge : 1, surcharge nulle ; 2, surcharge de 10 pour 100 ; 3, surcharge de 20 pour 100 ; 4, surcharge de 30 pour 100 ; 5, surcharge de 40 pour 100.

par un organe dont la température est régie par la même loi, cet organe provoquant le déclenchement de l'interrupteur dès que la température limite admissible est atteinte. En cas de court-circuit sur le moteur, ce dernier sera protégé par un déclenchement très rapide de l'interrupteur. Les dispositifs employés les plus adéquats utilisent les propriétés des relais thermiques.

3. Défauts des fusibles et des électroaimants pour la protection des moteurs. — Les fusibles, à cause de leur échauffement sous le courant nominal I_n, sont prévus pour fondre à une intensité généralement supérieure à 1,5 I_n. Ils ne servent à rien pour les surcharges intéressantes des moteurs entre 1 et 1,5 fois le courant nominal. Si un seul fusible fond, le moteur supposé triphasé marche en monophasé. Si le fusible est largement établi pour ne pas fondre au démarrage d'un moteur à rotor en court-circuit, il ne protégera pas le moteur qui, à la suite d'une baisse de tension, s'arrête et démarre de nouveau dès le retour de la tension.

Dans le cas des moteurs avec rotor en court-circuit on emploie souvent, comme nous l'avons dit plus haut, le démarrage en deux temps ; dans le premier temps, les fusibles étant en court-circuit, le moteur n'a pas de protection.

Dans un coffret avec fusibles il y a deux organes de coupure, l'interrupteur et le fusible ; or, il est toujours préférable qu'il n'y en ait qu'un seul bien établi.

Il est à noter que la protection contre les courts-circuits par le fusible n'est pas très bonne. En effet, si le fil est en argent, le temps de coupure décroît avec une très grande rapidité dès que l'on dépasse le courant de fusion. Ainsi, les fusibles pourront fondre pour une pointe de courant ne dépassant pas 3 fois le courant normal qui étant de courte durée n'est pas dangereuse pour le moteur.

Si le fil fusible est en zinc, le temps de fusion décroît très lentement et le fonctionnement en cas de court-circuit est trop lent ; les courbes de la figure 7 mettent en évidence ces propriétés pour ces deux métaux.

Un inconvénient grave du fusible est qu'après fonctionnement il faut le remplacer, ce qui n'est pas tou-

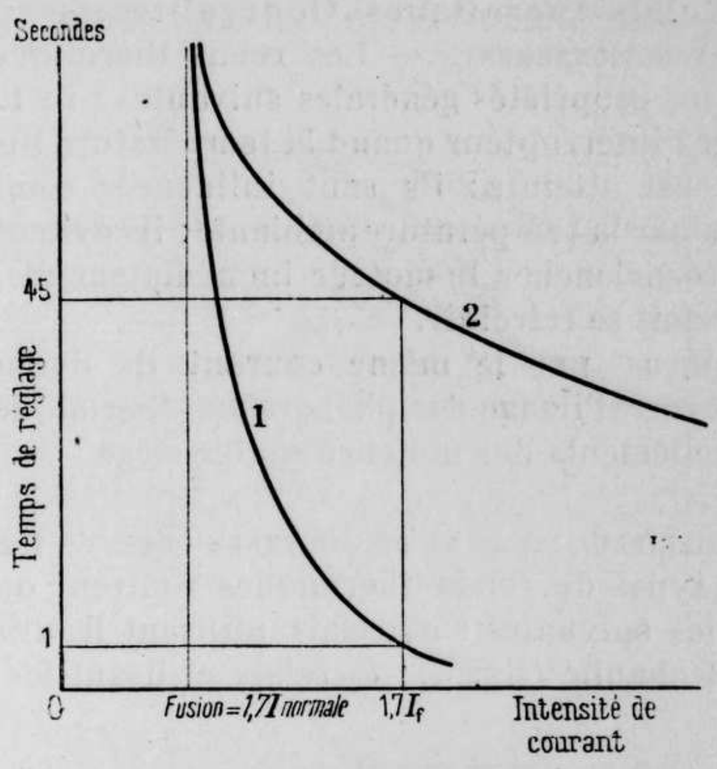


Fig. 7. — Courbes de fusion d'un fusible : 1, d'argent ; 2, de zinc.

jours facile, par le fait que tous les fusibles du commerce ne sont pas interchangeables.

L'emploi d'électroaimants avec dispositif de retard, à liquide, pneumatique, à mouvement d'horlogerie,

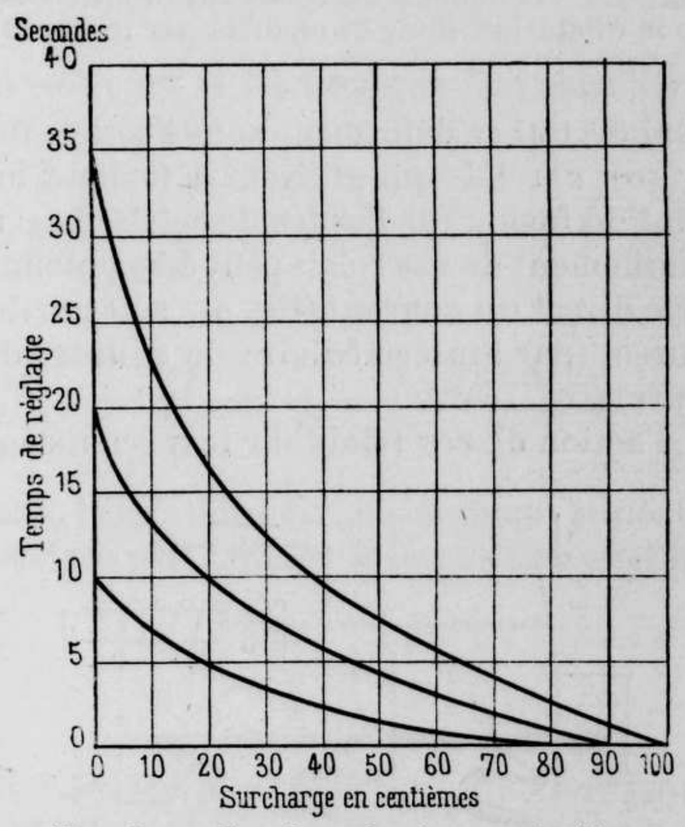


Fig. 8. — Courbes de temporisation d'un relais pneumatique à courant maximum.

supprime certains inconvénients des fusibles. On obtient, par exemple, le déclenchement sur les trois phases en cas de défaut sur une phase. Mais les courbes de temporisation ne conviennent pas ; les temps ne sont pas assez grands pour les faibles surcharges et sont aussi trop courts pour les fortes surintensités (fig. 8).

En résumé, les coffrets avec interrupteurs munis de fusibles, d'électroaimants à courant maximum, sont des appareils peu adaptés au fonctionnement et à la protection des moteurs au démarrage et en marche normale.

III. **Relais thermiques. Généralités.** — 1. Principe de fonctionnement. — Les relais thermiques possèdent les propriétés générales suivantes : ils font déclencher l'interrupteur quand la température limite du moteur est atteinte; ils sont influencés comme les moteurs par la température ambiante; ils évitent qu'on puisse réenclencher le moteur immédiatement, car ce dernier doit se refroidir.

Parcourus par le même courant ils donnent en quelque sorte l'image des phénomènes thermiques dont les enroulements des moteurs sont le siège.

2. Principaux types de relais thermiques. — Les principaux types de relais thermiques rentrent dans les catégories suivantes : *a*) relais utilisant la dilatation d'un fil chauffé (fig. 9); *b*) relais utilisant les lames

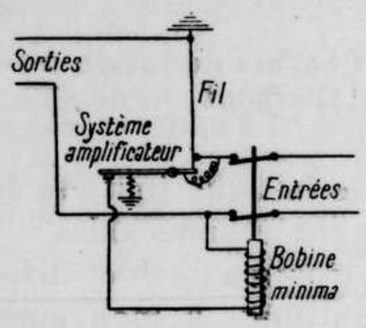


Fig. 9. — Schéma d'un relais thermique basé sur la dilatation d'un fil chauffé par le courant.

bimétalliques qui se déforment sous l'action de la chaleur (fig. 10); *c*) relais qui utilisent la fusion d'un alliage à bas point de fusion (de l'ordre de 80°C) (fig. 11).

L'échauffement de ces relais peut être obtenu soit par le passage direct du courant (fig. 9), soit par le chauffage indirect (par l'intermédiaire de shunts, de transformateurs) (fig. 10 et 11).

Enfin, l'action de ces relais sur le mécanisme de l'in-

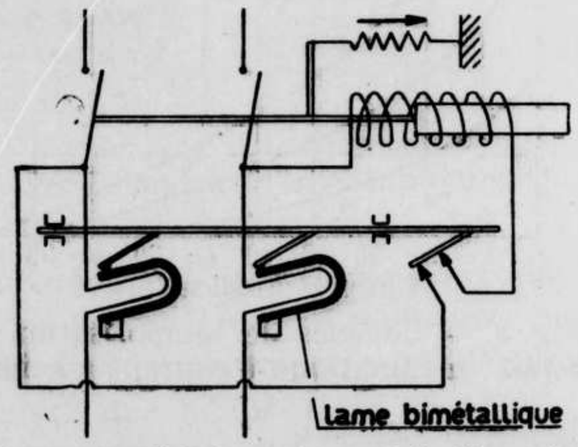


Fig. 10. — Schéma d'un relais thermique à lame bimétallique.

terrupteur peut être directe ou indirecte; dans ce dernier cas, par l'intermédiaire de bobines.

Dans le cas des relais utilisant le chauffage indirect, par exemple la fusion d'un alliage chauffé par une lame résistante l'entourant et parcourue par le courant normal, on obtient une constante de temps très élevée. L'emploi d'un relais auxiliaire fonctionnant en court-circuit est nécessaire pour la protection du moteur et

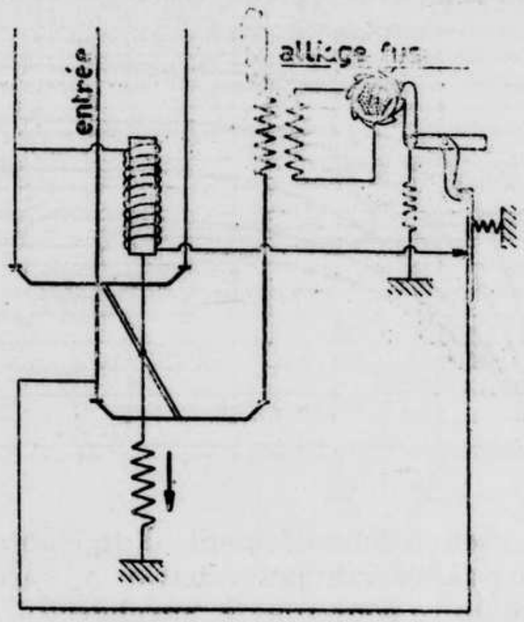


Fig. 11. — Schéma d'un relais thermique basé sur la fusion d'un alliage à bas point de fusion.

en même temps pour celle de la lame. Voici les résultats d'essai d'un tel relais thermique prévu pour un courant normal de 10 A :

	Rapport du courant considéré au courant normal.					
	2	3	6	10	12	13
Temps de déclenchement, en secondes	230	47	21	11	6	La lame fond et le coffret ne déclenche pas.

Une telle caractéristique de diminution du temps peut être utile pour les moteurs ayant un courant de démarrage très élevé. Mais il est préférable, dans ce cas particulier, d'avoir un dispositif élastique augmentant le courant de fonctionnement des relais à action directe, pendant l'instant du démarrage.

Les moteurs des divers constructeurs ayant des constantes de temps différentes, les relais seront prévus avec une constante de temps plutôt trop faible pour assurer la protection dans la totalité des cas. Les relais avec lame bimétallique se déformant sous l'action directe du courant, sans dispositif d'électroaimant auxiliaire pour le cas du court-circuit, sont les plus simples; c'est cette réalisation que nous étudierons.

IV. **Relais thermiques avec lame bimétallique.** — 1. Constitution de la lame bimétallique. — Elle se compose essentiellement de deux lames de métaux différents soudées l'une contre l'autre sur toute leur longueur. Ces métaux ont des coefficients de dilatation présentant entre eux un écart aussi grand que possible. Toute variation de température se traduit par une modification de la courbure de la lame. Si cette modification de courbure est grande pour une variation de température faible, on dit que la lame est très sensible.

D'après la théorie établie par Yvon Villarceau le maximum de sensibilité est obtenu lorsque les épaisseurs e des deux lames sont en raison inverse des racines carrées des coefficients d'élasticité E des deux métaux. Si, par exemple, on utilise le laiton et l'acier, le rapport

$$\frac{e \text{ laiton}}{e \text{ acier}} = \sqrt{\frac{E \text{ laiton}}{E \text{ acier}}} = 0{,}7 \text{ environ}$$

si

$$\frac{E \text{ laiton}}{E \text{ acier}} = \frac{1}{2}.$$

La figure 12 montre dans chaque portion de la lame les fibres tendues et les fibres comprimées à chaud.

2. Etude théorique du fonctionnement des lames bimétalliques. — Dans les relais, on utilise la déformation de cette lame pour effectuer, après un temps donné, le

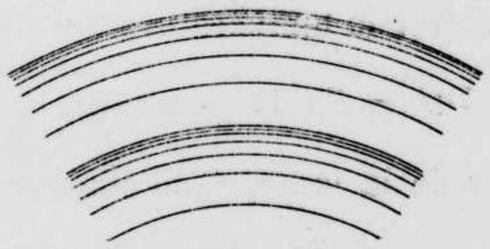


Fig. 12. — Représentation schématique de la contrainte des fibres de la lame bimétallique.

déclenchement de l'interrupteur. Il est donc nécessaire de connaître les lois régissant : 1° la déformation en fonction de la température ; 2° le travail disponible en fonction de la température ; 3° la température de la lame en fonction du courant traversant la lame et de la durée de ce courant.

1° *Loi de la déformation en fonction de la température.* — Supposons la lame encastrée et de longueur l ; sous une variation de température $\Delta\theta$ la variation de longueur de la lame supérieure est $l\alpha_1 \Delta\theta$; celle de la lame inférieure $l\alpha_2 \Delta\theta$, α_1, α_2 étant les coefficients de dilatation des deux métaux ; la lame s'incurve et si φ est l'angle du sommet, e, l'épaisseur totale de la lame (fig. 13), R_0, le rayon initial, R, le rayon après la variation $\Delta\theta$, la formule d'Yvon Villarceau donne

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} = \frac{\Delta\theta}{h}$$

où

$$h = \frac{2}{3} \frac{e}{\alpha_2 - \alpha_1} \left[1 + \frac{(E_2 e_1 - E_1 e_2)^2}{4 E_1 E_2 e^2 e_1 e_2} \right],$$

e_1, e_2 étant les épaisseurs des lames constituantes et E_1, E_2, leurs coefficients d'élasticité.

Au maximum de sensibilité

$$h = \frac{2}{3} \frac{e}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

d'où

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} = \frac{3}{2} \frac{\Delta\theta \Delta\alpha}{e},$$

en posant $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$.

Si, à l'état initial, la lame est droite on a $\frac{1}{R_0} = 0$.

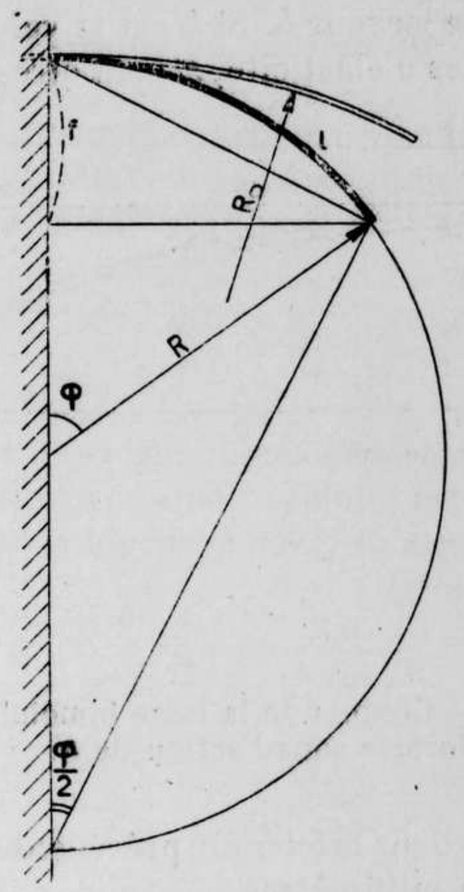


Fig. 13. — Construction géométrique permettant de déterminer les éléments qui définissent la déformation de la lame bimétallique.

Pratiquement c'est la flèche f que l'on considère ; on a approximativement

$$f = l\beta = R(1 - \cos\varphi) = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2} = 2R \left(\frac{l}{2R}\right)^2 = \frac{l^2}{2R},$$

d'où

$$\beta = \frac{f}{l} = \frac{l}{2R} = \frac{3}{4} l \frac{\Delta\theta \Delta\alpha}{e}.$$

On a donc la relation suivante donnant la flèche de la lame encastrée par rapport à la position rectiligne de la lame

$$\frac{f}{l} = \frac{3}{4} l \frac{\Delta\theta \Delta\alpha}{e}.$$

L'origine des températures est celle pour laquelle la lame est rectiligne.

Les valeurs de α sont : alliage de fer et nickel à 36 pour 100 de nickel, 1×10^{-6} ; platine, 8×10^{-6} ; fer, 11×10^{-6} ; nickel, 13×10^{-6} ; cuivre, 16×10^{-6} ; alliage de fer et nickel à 25 pour 100 de nickel, 18×10^{-6} ; zinc, 30×10^{-6}.

On emploie couramment des alliages de fer et nickel et l'on obtient par l'assemblage de ces deux alliages $\Delta\alpha = 17 \times 10^{-6}$.

2° *Effort et travail disponibles.* — Si la lame est en-

castrée à une extrémité et libre à l'autre, l'effort F correspondant à la flèche f est (fig. 14)

$$F = \frac{3EIf}{l^3},$$

I étant le moment d'inertie égal à $\frac{be^3}{12}$ pour les lames rectangulaires de largeur b. Si E est la valeur moyenne des deux modules d'élasticité, E peut être de l'ordre de

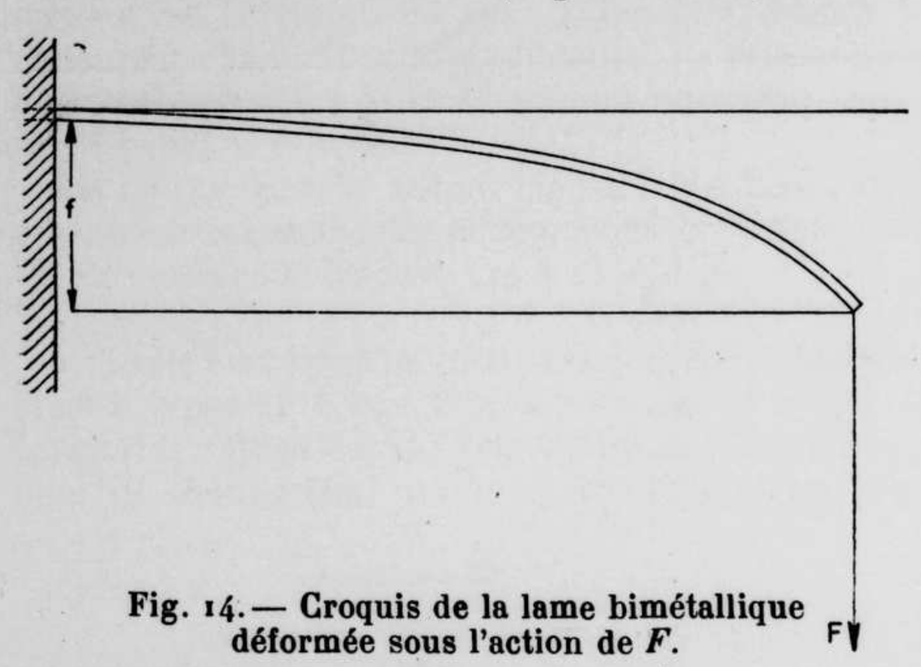


Fig. 14. — Croquis de la lame bimétallique déformée sous l'action de F.

15 000 kg : mm² ; dans la formule précédente, on exprime les longueurs en millimètres.

C'est l'effort F qui empêche la lame de se cintrer et d'avoir la flèche f sous l'effet de la variation de température.

La contrainte du métal est

$$R = \frac{\frac{M}{I}}{n} = \frac{\frac{Fl}{be^2}}{6} = \frac{6Fl}{be^2}.$$

La contrainte maximum R peut souvent être prise de l'ordre de 20 kg : mm². Le travail de la lame bimétallique est $F \times f$. Par degré d'élévation de température il est

$$\frac{F \times f}{\Delta\theta}.$$

Si on veut accroître le travail de la lame, il faut accroître la flèche f provoquée par $\Delta\theta$, c'est-à-dire, accroître $\frac{l^2}{e}$ et augmenter l'effort F correspondant à cette flèche f, c'est-à-dire augmenter $\frac{be^3}{l^3}$, ce qui est en partie contradictoire ; on effectue le produit qui correspond à Ff

$$\frac{l^2}{e} \times \frac{be^3}{l^3} = \frac{be^2}{l};$$

il croît avec la largeur b de la lame, mais surtout avec l'épaisseur. On agit sur l'épaisseur : nous verrons plus loin l'influence favorable de l'épaisseur sur la grandeur de la constante de temps.

3° *Echauffement de la lame bimétallique par le courant.* — Supposons la lame bimétallique à 0°C soumise à un courant I. Lorsqu'il y a équilibre de température, la quantité de chaleur Q correspondant à la puissance dépensée RI^2 (où R est la résistance de la lame) est égale à la quantité de chaleur rayonnée. La température de régime θ_m est donnée par

$$\theta_m = \frac{Q}{sm}, \qquad (1)$$

où s est la surface de rayonnement et m le coefficient de rayonnement.

Si la lame bimétallique n'était pas à 0°C, les valeurs de θ donneraient l'élévation de température. Avant l'établissement de ce régime, la température θ à un instant t est définie par le fait que la quantité de chaleur dépensée dans un temps dt, soit $Q\,dt$, est égale à la quantité de chaleur rayonnée, augmentée de celle absorbée pour élever la température du fil de $d\theta$:

$$Q\,dt = PC\,d\theta + ms\theta\,dt,$$

où P est le poids de la lame, C, la chaleur spécifique ; d'où

$$t = PC \int_0^{\theta} \frac{d\theta}{Q - ms\theta} = \frac{PC}{ms} \log_e \frac{Q}{Q - ms\theta},$$

où Q est égal à $0{,}24\,RI^2$, quantité de chaleur dépensée dans l'unité de temps, et, en tenant compte de (1) (fig. 15),

$$t = \frac{PC}{ms} \log_e \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta}.$$

Posons $t_0 = \frac{PC}{ms}$; t_0 est homogène à un temps : c'est la

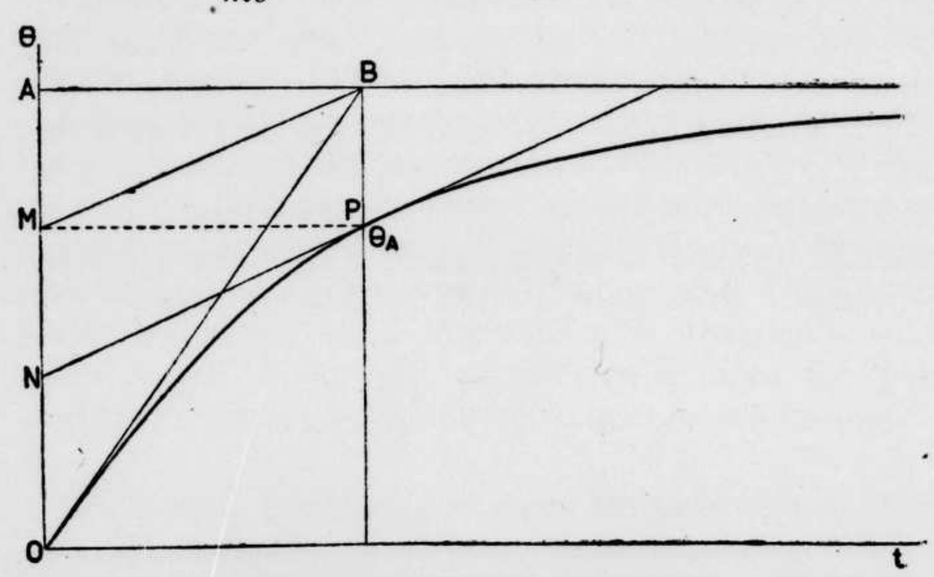


Fig. 15. — Courbe d'échauffement de la lame bimétallique sous l'action d'un courant constant.

constante de temps de la lame bimétallique exprimée en secondes ; donc

$$t = t_0 \log_e \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta} \quad \text{et} \quad \theta = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t}{t_0}}\right),$$

courbe d'asymptote horizontale $\theta = \theta_m$ et de tangente à l'origine définie par

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\theta_m}{t_0}.$$

On a aussi

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{Q}{mst_0} = \frac{Q}{PC} = \frac{0{,}24\,\rho l I^2}{Sl S\gamma C} = \left(\frac{I}{S}\right)^2 \frac{0{,}24}{\gamma C}\,\rho.$$

Posons

$$A = \frac{\gamma C}{0{,}24};$$

c'est la capacité calorifique en watts par seconde et par unité de volume ; γ est le poids spécifique du métal. Donc

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\delta^2}{A}\,\rho, \qquad (2)$$

où δ est la densité de courant et ρ la résistivité de la lame. Pour les lames bimétalliques, la valeur de C en calories (grammes) est de l'ordre de 0,1, celle de γ, rapportée à 1 cm³, de l'ordre de 8, donc A est de l'ordre de $\frac{0{,}8}{0{,}24} = 3{,}3$.

La résistivité ρ est grande lorsqu'il s'agit des alliages de fer et nickel ; elle est de l'ordre de 80×10^{-6} ohm-cm.

Si le courant s'annule (déclenchement du disjoncteur) les équations du refroidissement de la lame bimétallique, qui était, par exemple, à la température maximum, sont (fig. 16)

$$t = t_0 \log_e \frac{\theta_m}{\theta} \quad \text{et} \quad \theta = \theta_m e^{-\frac{t}{t_0}}.$$

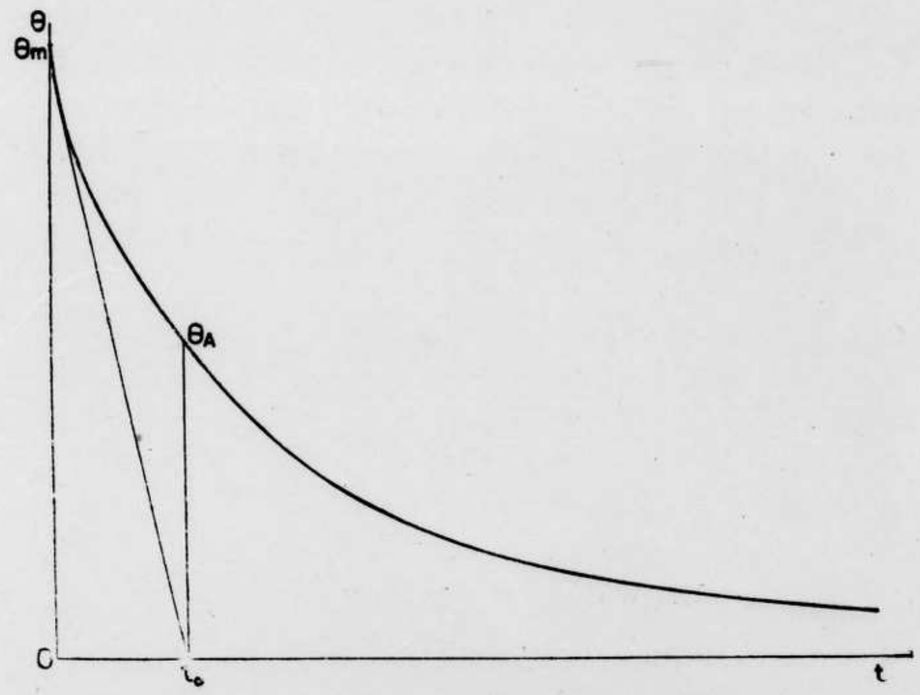


Fig. 16. — Courbe de refroidissement de la lame bimétallique.

Dans les formules précédentes, nous avons deux grandeurs importantes, θ_m et t_0.

a) Rappelons que si on connaît la courbe d'échauffement ou de refroidissement, il suffit de mener la tangente à la courbe au temps $t = 0$ et de prendre l'intersection avec l'asymptote pour avoir t_0.

b) Si on connaît un point P de la courbe d'échauffement (fig. 15) et la tangente en ce point, si on calcule d'autre part $\operatorname{tg} \psi$ d'après la formule (2), on obtient $t_0 = AB$ et $\theta_m = OA$ en menant MP parallèle à l'axe des abscisses et MB parallèle à la tangente en P. Le point B est la rencontre de cette droite MB et de la tangente à l'origine.

c) Si on fait $t = t_0$, on obtient un point θ_A de la courbe tel que :

$\theta_A = 0{,}63\ \theta_m$, sur la courbe d'échauffement (fig. 15);

$\theta_A = 0{,}37\ \theta_m$ sur la courbe de refroidissement (fig. 16).

La tangente en ce point peut être construite facilement, car

$$\frac{d\theta_A}{dt} = \frac{\theta_m}{e^{t_0}}$$

e étant la base des logarithmes népériens égale à 2,71.

d) Connaissant t_0, on peut calculer le temps t au bout duquel θ se sera rapproché de θ_m de n centièmes

$$\theta = \theta_m \left(1 - \frac{n}{100}\right);$$

donc

$$t = t_0 \log_e \frac{100}{n};$$

d'où pour

$$t = 2{,}3\ t_0, \quad n = 10 \text{ centièmes},$$

$$t = 5{,}3\ t_0, \quad n = 0{,}5 \text{ centième}.$$

e) On donne parfois des formules simples permettant de calculer θ_m ; soit

$$\theta_m = \frac{\theta_1^2}{2\theta_1 - \theta_2},$$

en lisant θ_1 et θ_2 après des temps t_1 et t_2 tels que

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{2}.$$

4° *Relation entre le temps de fonctionnement de la lame bimétallique et le courant.* — Supposons que pour le courant I_0 la température obtenue après un temps infini soit celle correspondant à la valeur maximum admissible pour le moteur (95°C). Pour un courant $I_1 = n I_0$, n étant supérieur à 1, la température de régime serait θ_1 telle que

$$\frac{\theta_1}{\theta_0} = \frac{I_1^2}{I_0^2}, \quad \text{d'où} \quad \theta_1 = \theta_0 n^2.$$

Le fonctionnement de l'interrupteur du coffret sous l'action de la lame bimétallique pour la température θ_0 avec le courant I_1 aura lieu après un temps

$$t = t_0 \log_e \frac{\theta_1}{\theta_1 - \theta_0} = t_0 \log_e \frac{n^2}{n^2 - 1}.$$

Remarquons que $t = t_0$ pour

$$\log_e \frac{n^2}{n^2 - 1} = 1,$$

c'est-à-dire, pour

$$\frac{n^2}{n^2 - 1} = e \quad \text{ou} \quad n^2 (e - 1) = e;$$

ce qui donne $n = 1{,}26$.

Supposons n supérieur à 1 ; on peut développer

$$\log_e \frac{n^2}{n^2 - 1}$$

en série et se limiter au premier terme. Il vient $t = \frac{t_0}{n^2}$, formule indiquée à propos de prescriptions du courant admissible pour les moteurs.

Pour une lame bimétallique

$$t_0 = \frac{PC}{ms} = \frac{be l \gamma C}{2blm} = \frac{e \gamma C}{2m};$$

la surface de rayonnement s étant égale à $2bl$ si l'épaisseur de la lame est négligeable, d'où

$$t_0 = \frac{e \times 8 \times 0{,}1}{2 \times 1{,}1 \times 10^{-4}} = 4e \times 10^3 \text{ environ.}$$

Si $e = 0{,}1$ cm, on a $t_0 = 400$; c'est l'ordre de grandeur de la constante de temps des moteurs.

5° *Fonctionnement de la lame bimétallique en cas de court-circuit.* — Le déclenchement de l'interrupteur du coffret commence lorsque la température de la lame bimétallique a atteint la valeur correspondant à la température θ_m du moteur ; mais ce déclenchement dure un certain temps t_c, car il y a un retard dans le mouvement de la lame et il faut que le mécanisme de l'interrupteur se déverrouille, que l'arc qui jaillit entre les contacts de rupture s'éteigne. Pendant ce temps, la température de la lame croît et une température dangereuse peut être atteinte par le moteur et la lame ; celle-ci peut fondre (fig. 17).

On sait que la température de la lame sera au temps t_c

$$\theta_c = \theta_{cm} \left(1 - e^{-\frac{t_c}{t_0}}\right)$$

ou en développant et nous limitant aux deux premiers termes

$$\theta_c = \theta_{cm} \left(1 - 1 + \frac{t_c}{t_0}\right) = \frac{t_c}{t_0} \theta_{cm};$$

θ_{cm} serait la température après un temps infini.

Or,

$$\theta_{cm} = \theta_0 \frac{I_c^2}{I_0^2},$$

θ_0 étant la température de la lame pour un courant donnant, par exemple, une température de 95°C au moteur, d'où

$$\theta_c = \frac{t_c}{t_0} \theta_0 \frac{I_c^2}{I_0^2} \quad \text{et} \quad I_c = I_0 \sqrt{\frac{t_0}{t_c} \frac{\theta_c}{\theta_0}}.$$

Le temps t_c, pour que le moteur ne soit pas détérioré, est connu ; le courant I_c admissible sera d'autant

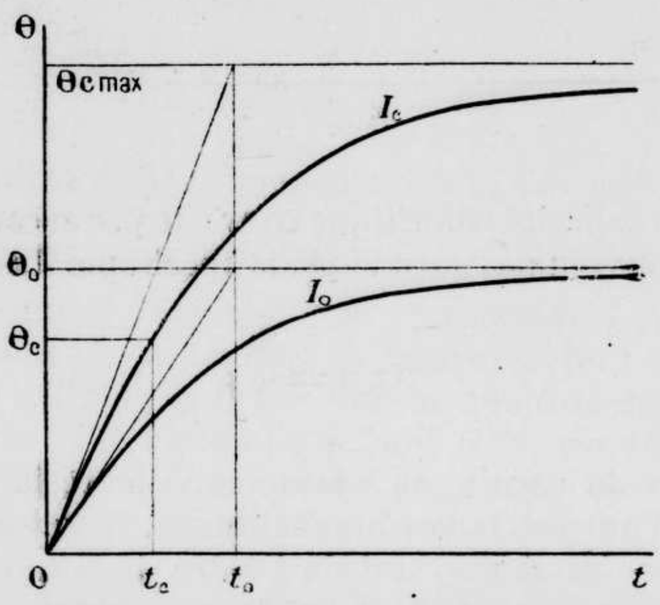


Fig. 17. — Courbe d'échauffement de la lame bimétallique pour deux courants I_0, et I_c, ce dernier étant un courant de court-circuit.

plus grand que t_0, donc e, seront plus grands et θ_0, plus petit.

V. Coffrets de moteur avec relais à lame bimétallique — 1. PRINCIPE DE LA COMMANDE DU DÉCLENCHEMENT DE L'INTERRUPTEUR PAR LA LAME BIMÉTALLIQUE. — Dans les coffrets de petits moteurs le courant est faible et l'encombrement limite la longueur l de la lame. Si on veut avoir une constante de temps suffisante, l'épaisseur e ne peut être prise inférieure à une certaine valeur ; cette épaisseur e est d'ailleurs limitée, dans ses valeurs maxima et minima, par des conditions de fabrication. On a intérêt à avoir en régime normal une température peu élevée de la lame bimétallique ; l'échauffement du coffret sera moindre, la résistance aux courts-circuits sera plus grande ; on pourra éviter les relais auxiliaires (électroaimants) à action instantanée. Dans ces conditions, la flèche et l'effort disponible ne sont pas grands. On peut associer des lames bimétalliques en série, ce qui rend le système plus compliqué et plus coûteux.

Pour obtenir une lame bimétallique d'un fonctionnement correct, il y a intérêt à ne pas agir directement sur un mécanisme dont l'effort n'est pas toujours constant, ce qui modifie beaucoup le temps, surtout aux surcharges faibles qui sont particulièrement intéressantes. Le temps serait différent, suivant l'action de la lame bimétallique d'une phase ou de celles de toutes les phases.

2. DESCRIPTION DE DEUX DISPOSITIFS. — 1° Le coffret comprend un interrupteur avec mécanisme de déclenchement libre et réenclenchement empêché, une bobine

à minimum de tension destinée à la protection du moteur si la tension baisse ou s'annule. Sur la carcasse de cet électroaimant à minimum est placé un enroulement supplémentaire normalement ouvert (fig. 18 et 19).

Les lames en se déformant ferment le circuit de cet enroulement, celui-ci étant en court-circuit est par-

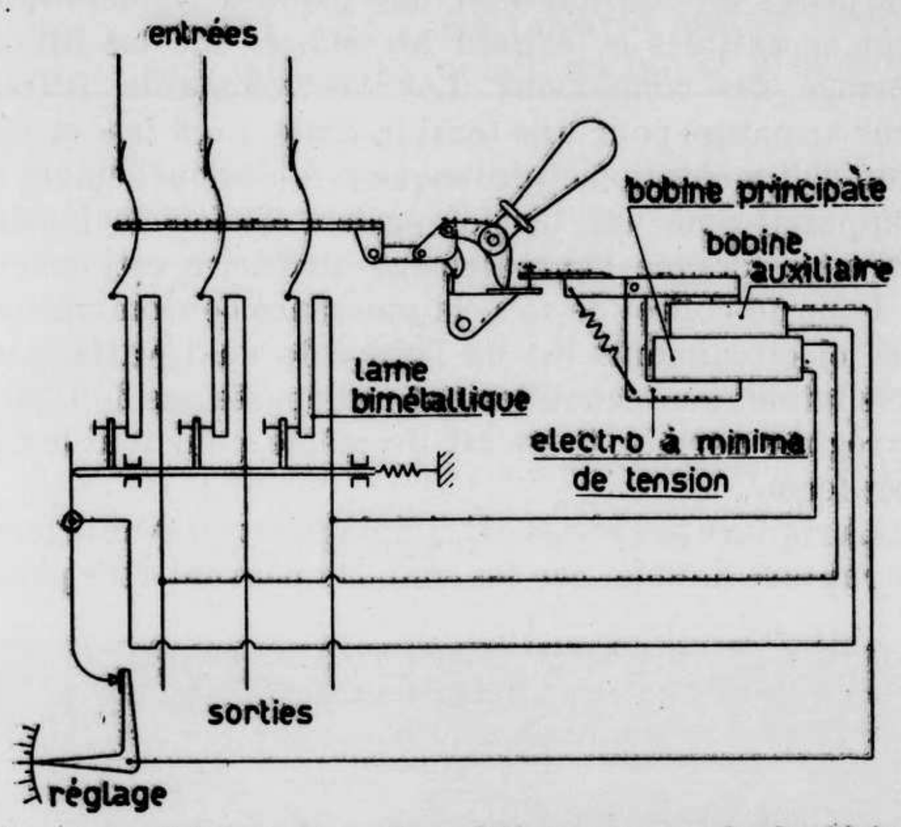


Fig. 18. — Schéma d'un dispositif de commande de déclenchement de l'interrupteur par la lame bimétallique.

couru par un courant induit créé par le flux dû à la bobine principale; le flux principal est considérablement réduit. L'armature n'est plus attirée; en revenant au repos elle fait déclencher le disjoncteur.

En cas de court-circuit la baisse de tension fait fonctionner l'électroaimant à minimum, en même temps

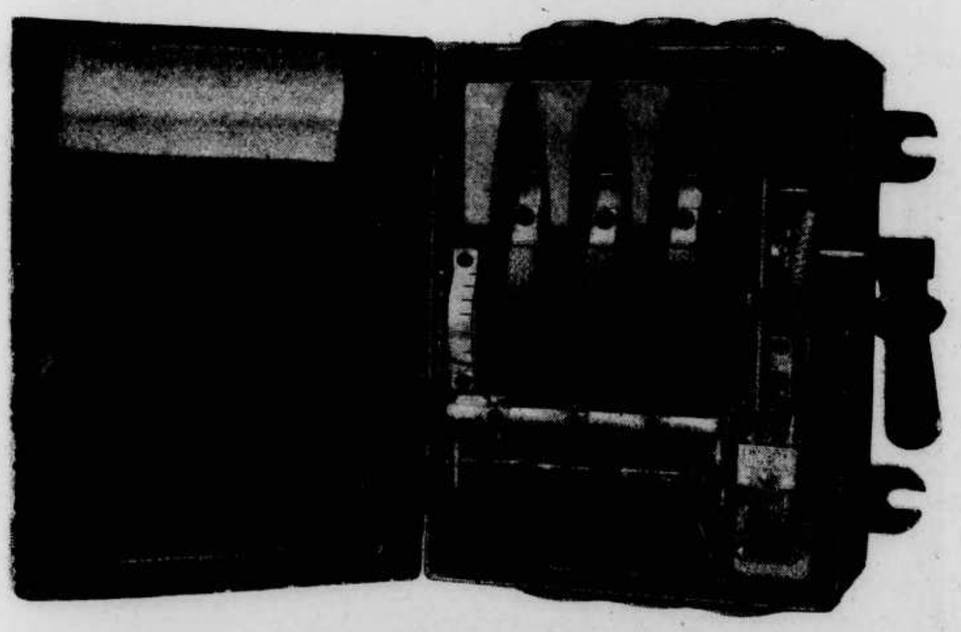


Fig. 19. — Vue du dispositif dont le schéma est représenté sur la figure 18.

que la surintensité de courant agit sur la lame bimétallique et ferme l'enroulement auxiliaire.

Il est à noter que la lame provoquant la fermeture d'un enroulement parcouru par un courant, d'ailleurs faible (inférieur à 0,1 A), le fonctionnement est sûr; il n'en serait pas de même d'une ouverture très lente du circuit de la bobine principale.

2° L'emploi de coffrets dits coffrets contacteurs se répand de plus en plus, car il permet tous les avantages de la commande à distance, loin du moteur et du coffret.

On évite les mécanismes délicats de déclenchement libre des petits coffrets. L'électroaimant d'attraction comprend un enroulement principal et l'enroulement auxiliaire, comme précédemment, lequel est mis en court-circuit par les lames bimétalliques en cas de surintensité de courant (fig. 20).

L'électroaimant d'attraction fonctionne aussi comme bobine à minimum de tension. Pour l'enclenchement

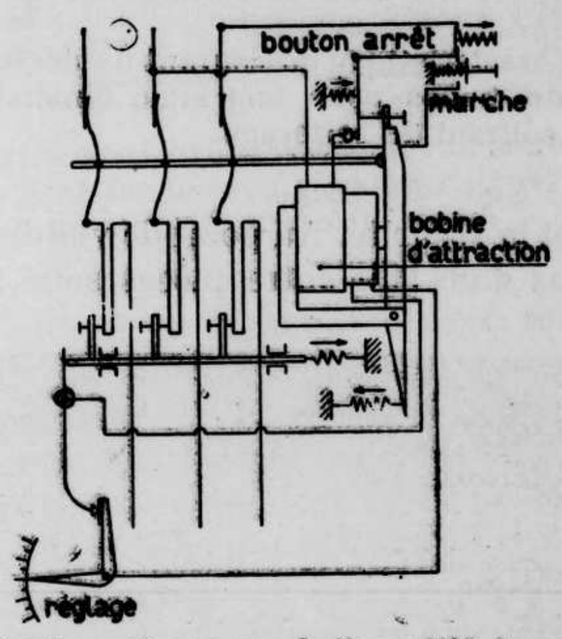


Fig. 20. — Schéma d'un second dispositif de commande de déclenchement de l'interrupteur par la lame bimétallique.

de l'interrupteur, on appuie sur le bouton « marche », la bobine principale de l'électroaimant est alimentée; l'interrupteur, en se fermant, met en court-circuit le bouton poussoir.

En cas de surintensité de courant, l'enroulement auxiliaire est mis en court-circuit et, même si l'on continue à appuyer sur le bouton poussoir, l'enclenchement ne peut se produire tant que la lame bimétallique ne s'est pas suffisamment refroidie; c'est le cas d'un enclenchement sur court-circuit.

Pour déclencher normalement, on appuie sur un bouton poussoir coupant la bobine principale, ou fermant la bobine auxiliaire.

Une gamme de lames bimétalliques est prévue pour les courants nominaux des moteurs, par exemple, 3; 4,6; 7; 11; 17 et 25 A.

Ces lames sont simples, très accessibles et elles peuvent être changées facilement. Un réglage est aussi prévu permettant d'utiliser une lame bimétallique pour des courants variant de 1 à 1,6 fois le courant de calibrage de la lame, cela sans échauffement exagéré (par exemple de 3 A à 4,8 A). Ce réglage se fait au moyen d'un cadran gradué dont le déplacement fait varier l'écartement des contacts pour l'enroulement auxiliaire.

La courbe de la figure 21 montre la caractéristique de déclenchement d'une lame bimétallique, le réglage étant fait pour le courant de calibrage de cette lame.

3. Caractéristiques générales des coffrets équipés avec l'un ou l'autre de ces dispositifs — Dans ce type de coffrets on a recherché le fonctionnement correct, la

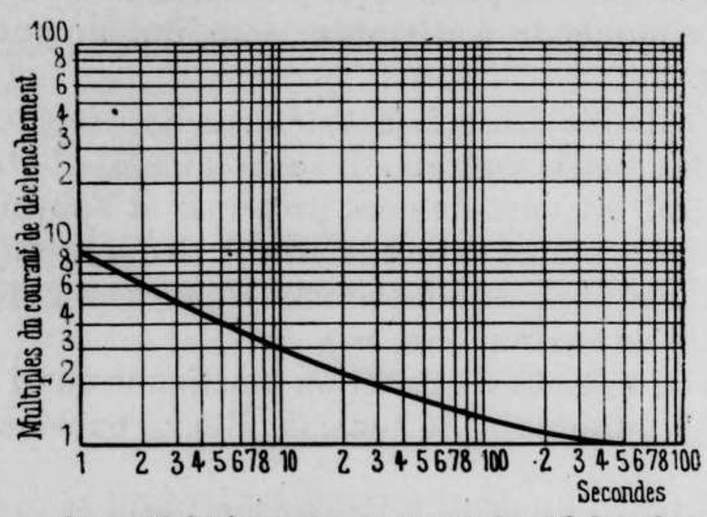


Fig. 21. — Caractéristique du courant de déclenchement en fonction du temps pour une lame bimétallique réglée pour son courant de calibrage.

simplicité et la sécurité. Au point de vue de l'isolement, les distances dans l'air entre pièces sous tension sont supérieures à 7 mm pour 220 v; les lignes de fuite à la surface des isolants sont supérieures à 10 mm. La tension d'essai entre phases, entre phases et masse est de 2000 v pendant 1 minute.

L'électroaimant à minimum ou celui d'attraction ont des bobines « bloc », c'est-à-dire qu'elles sont enfermées dans une enveloppe en coton imprégnée et vernie; les prises de courant sont des plaques rigides, donc très accessibles et évitant les efforts sur les fils au serrage des connexions. Les électroaimants attirent leur armature pour une tension égale à 0,8 fois la tension d'alimentation et provoquent le déclenchement de l'appareil pour une tension égale à 0,6 fois la tension normale lorsque l'enroulement auxiliaire est ouvert.

Pour un coffret de 25 A, la puissance consommée par des électroaimants est de l'ordre de 2 à 3 watts, donc très faible; leur échauffement ne dépasse pas 30°C pour le régime normal, il en est de même pour tout le coffret fermé.

La rupture par phase est simple ; c'est un avantage sur la rupture double, car les contacts peuvent être placés

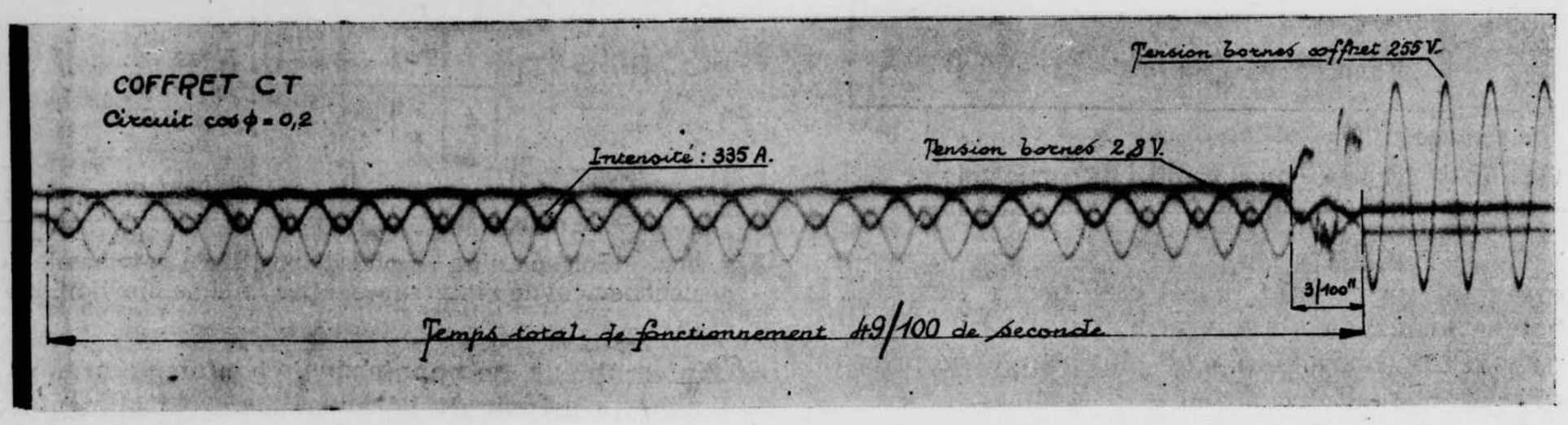


Fig. 22. — Oscillogrammes du courant et de la tension à la rupture par un coffret équipé avec une lame bimétallique (cos φ = 0,2).

à la partie supérieure du coffret, l'arc se développe dans une chambre en matière isolante et réfractaire.

Essais d'un coffret 25 ampères, 220 volts. — Les contacts ont été étudiés avec soin et la coupure sous la pleine tension d'une surintensité de courant égale à 106 fois le courant normal s'effectue sans inconvénients et sans autre secours que le soufflage propre des contacts; il n'y a pas de bobine de soufflage auxiliaire. L'enclenchement sur le court-circuit ne provoque pas de détérioration des contacts. Le temps total minimum de rupture en court-circuit est de l'ordre de 0,04 à 0,05 s.

Les oscillogrammes des figures 22 et 23 donnent les résultats d'essais de coupure avec cos φ = 0,2 et cos φ = 1.

La robustesse des coffrets a été contrôlée par 100000 manœuvres sous le courant normal et la tension normale.

Pour arriver aux résultats précédents, une étude expérimentale des principaux types de contact a été faite. Les contacts essayés furent, soit à pression simple avec pièces de contact à une fente et une surface de pression (fig. 24 a), avec pièces de contact à deux fentes et une ligne de pression (fig. 24 g); soit à glissement

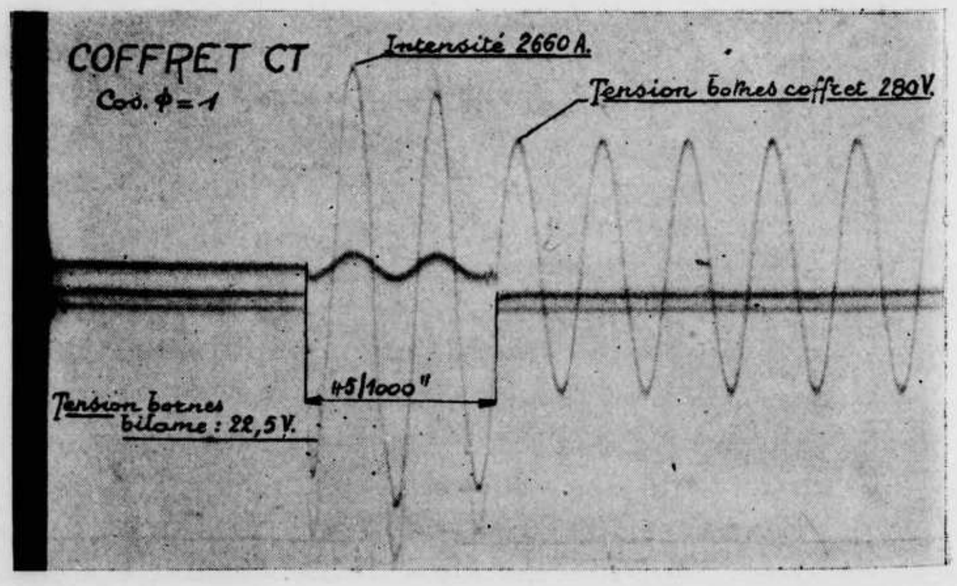


Fig. 23. — Oscillogrammes du courant et de la tension à la rupture par un coffret équipé avec une lame bimétallique (cos φ = 1).

(fig. 24 b); soit à roulement (fig. 24 c); à roulement mais avec augmentation du soufflage propre par rap-

prochement des contacts sur une grande longueur (fig. 24 d); à roulement avec pièces de contact fendues suivant deux lignes (fig. 24 e); à roulement et adjonction de pièces en fer pour renforcement de soufflage au point de contact (fig. 14 f); soit de l'un ou l'autre des types précédents avec bobine de soufflage.

On a fait varier l'effort de pression dans chacun des cas de 500 à 2500 g. Le nombre de coupures à 220 v, $\cos\varphi = 0{,}4$, $I = 25$ A, était poussé jusqu'à la destruction des contacts; on notait, au fur et à mesure des essais, les piqûres, si elles se produisaient au sommet des pièces ou au voisinage immédiat de l'endroit du contact et on contrôlait la chute de tension au contact.

Ces essais nous ont conduits à reconnaître la supériorité du contact de la figure 24 c, sans dispositif de soufflage auxiliaire. Les autres genres de pièces, sans bobine de soufflage auxiliaire, assurent le contact permanent sur des portions piquées par l'arc. Le soufflage auxiliaire est une complication.

De très nombreux essais successifs effectués ensuite

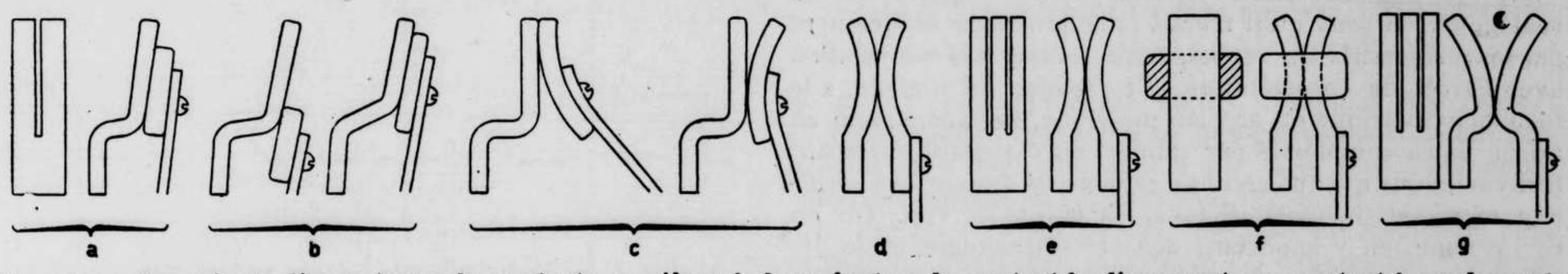


Fig. 24. — Croquis de divers types de contact: a, pièces à deux fentes; b, contact à glissement; c, contact à roulement; d, contact à roulement avec augmentation du soufflage propre; e, pièces fendues suivant deux lignes; f, contact à roulement avec adjonction de pièces en fer; g, contact à deux fentes et une ligne de pression.

sur le contact à roulement, avec des courants de 200 à 400 A, sous 250 v, $\cos\varphi = 0{,}4$ ont montré que les piqûres et l'usure des contacts s'effectuaient à l'extrémité supérieure des pièces.

Les cheminées dont la forme est indiquée par la photographie (fig. 19) ont été étudiées pour limiter le développement de l'arc et empêcher l'amorçage entre phases, en cas de rupture de très grands courants avec un faible facteur de puissance.

VI. **Conclusions**. — Le développement considérable de l'emploi de l'électricité doit conduire à un accroissement des dispositifs de sécurité. Le remplacement des anciens interrupteurs et fusibles sans protection par des coffrets de manœuvre représente un pas dans ce sens.

Les coffrets de manœuvre avec relais thermiques réalisent un nouveau progrès, non seulement dans l'augmentation de la sécurité, mais aussi dans la meilleure utilisation des appareils et, en particulier, des moteurs. La combinaison de la protection contre les surintensités de courant avec celle contre les chutes de tension exagérées donne, par l'emploi de lames bimétalliques parcourues directement par le courant, une solution simple, aussi bien dans le cas des coffrets à commande directe à main que dans le cas des coffrets à commande à distance.

C. Bresson,
Ingénieur en chef du service technique des Ateliers de Constructions électriques de Delle.

Revues, analyses et informations

Régulateurs pour turbines hydrauliques (1).

1. Historiques de régulateurs Escher Wyss et presentation des types actuels. — Ce coup d'œil rétrospectif a pour but de mettre en évidence les facteurs déterminants dans la construction du type actuel de régulateur. On employait au début, pour la mise en mouvement des organes de réglage des turbines, des régulateurs avec servomoteurs mécaniques auxiliaires, mais les durées de fermeture étaient longues et ces appareils se révélèrent insuffisants pour la régulation des groupes électrogènes. Ils furent alors remplacés par les régulateurs hydrauliques dans lesquels le fluide moteur était l'eau sous pression d'alimentation des turbines. Toutefois, ce procédé donnait lieu à des difficultés inhérentes à l'épuration de l'eau, opération qui, dans certains cas, était coûteuse, et aux variations de pression. La maison Escher Wyss et Cie fut la première à créer le régulateur à huile sous pression qui est d'un usage général aujourd'hui. Les deux inconvénients précités disparaissaient : l'huile pure n'avait aucune influence nuisible sur les organes du régulateur et il était possible d'obtenir un travail de réglage absolument indépendant des hauteurs de chute.

A l'origine, le servomoteur et les organes de réglage formaient un même groupe. La pompe à huile, avec ses accessoires, était disposée séparément et liée au servomoteur par des tuyauteries d'alimentation et de retour.

En 1905, la maison Escher Wyss et Cie créa le premier type de régulateur réunissant en une unité tous ces organes. Ce fut le « régulateur universel » modèle 1906, précurseur du type actuel connu sous le même nom. Les petits modèles destinés à un travail de 50 à 250 kg-m étaient du type dit « à circulation », la pression d'huile nécessaire

(1) E. Jaquet. *Bulletin Escher Wyss*, novembre-décembre 1929, t. II, p. 195-223, 4 500 mots, 43 figures, 2 tableaux.

au travail de réglage n'étant engendrée qu'au moment où celui-ci doit s'effectuer. Pour les régulateurs plus puissants un système d'accumulation d'huile sous pression fut adopté, la pompe ne fournissant qu'une partie relativement faible de la quantité d'huile nécessaire à l'alimentation du cylindre moteur au moment d'un réglage, mais devant constamment surmonter la pression régnant dans les réservoirs régulateurs à air, soit 15 atmosphères environ. Plus tard, le type à circulation fut construit pour un travail allant jusqu'à 1300 kg-m, parce que plus simple. Ces régulateurs étaient purement tachymétriques.

En 1922 apparut une nouveauté dans le processus du réglage en ce sens qu'il n'était plus provoqué uniquement par les dispositifs de rappel, mais il était mis en relation avec l'arrêt de l'accélération. Ce système de réglage, à la fois tachymétrique et accélérométrique, fut abandonné en raison de sa complexité par rapport au dispositif purement tachymétrique qui fut reconnu capable de donner des résultats aussi satisfaisants, à tous les points de vue. On en revint donc, en y apportant des perfectionnements de détail, aux types 1906, à circulation et à accumulation d'huile.

2. Modernisation d'anciens types de régulateurs par remplacement des mécanismes de commande. — Tous les régulateurs du type 1906 peuvent, par conséquent, être modernisés par l'adaptation des nouveaux mécanismes de commande qui permettent d'obtenir : une limitation plus serrée des accroissements maxima de vitesse en cas de décharge brusque, un ajustement à la main de la vitesse entre des limites très écartées (de 25 pour 100 environ), un réglage plus rapide et mieux amorti et un entretien moindre.

3. Les régulateurs de l'usine hydroélectrique d'Eguzon. — Ils sont du type normal à accumulation d'huile, mais comportent toutefois une modification consistant en un servomoteur différentiel qui comprend un cylindre de fermeture plus petit et un cylindre d'ouverture plus grand. Le petit cylindre est directement raccordé au générateur d'huile sous pression et le grand cylindre est mis en communication, par le distributeur, tantôt avec la conduite d'huile sous pression, tantôt, avec la conduite d'évacuation. Les résultats des essais de régulation sont consignés sur les tachygrammes des figures 1 a et 1 b. Les tachygrammes 1 à 4 de la figure 1 a ont trait à des déclenchements entre la marche à pleine charge (1 500 ch) et la marche à vide et pour un degré d'irrégularité de 2 pour 100 environ. Les tachygrammes suivants (fig. 1 b) se rapportent à des déclenchements effectués à 11 400 ch, chacun avec un ajustement différent du régulateur. Le tachygramme 5 montre la variation de la vitesse pour un degré d'irrégularité total de 2 pour 100 environ et pour un faible amortissement. Dans le tachygramme 6 le régulateur est ajusté pour le réglage isodrome (degré d'irrégularité nul) et un amortissement également faible. Le tachygramme 7 montre, par contre, l'effet d'un renforcement marqué de l'amortissement. Le déclenchement a été obtenu avec un degré d'irrégularité très petit, de 0,8 pour 100 environ.

4. Le contrôle, l'ajustage et l'essai de marche en ateliers des régulateurs universels a pression d'huile. — Les mécanismes de commande sont d'abord essayés seuls sur une plate-forme spéciale. Le pendule est contrôlé et ajusté en prenant grand soin à ce que même les plus petites irrégularités dans son entraînement soient enregistrées par un mouvement de son pivot. Si tel n'est pas le cas, le défaut est corrigé jusqu'à ce que le pendule ait atteint sa sensibilité normale. L'amortissement est également contrôlé ainsi que son réglage. Les mécanismes sont ensuite soumis à un essai de durée de 48 heures qui a surtout pour but de contrôler le fonctionnement de la pompe et du circuit d'huile.

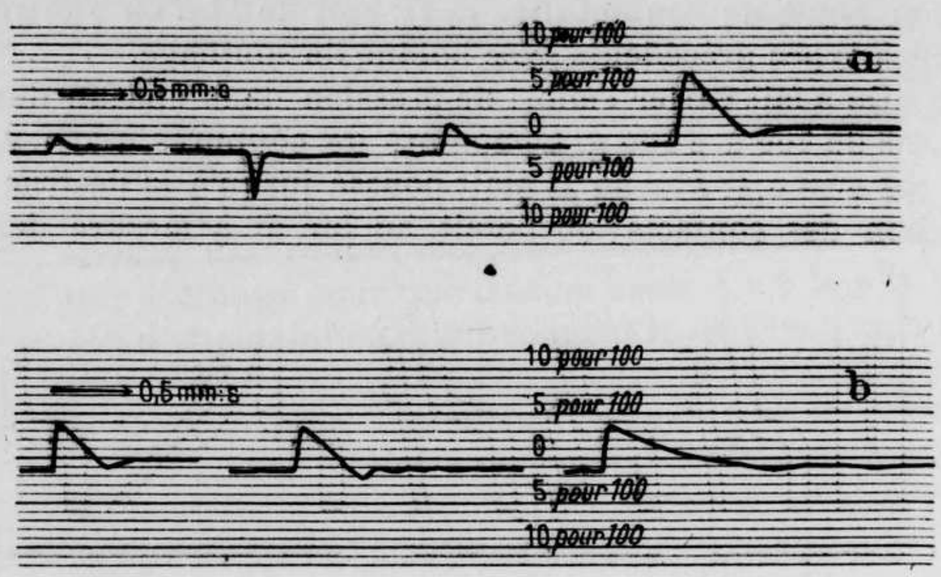


Fig. 1. — Tachygrammes relevés sur les régulateurs des turbines hydrauliques de l'usine génératrice d'Eguzon.

Après l'assemblage du mécanisme de commande et de son régulateur, l'appareil complet passe à une autre plate-forme où l'on règle les positions de fin de course de la tringlerie, la pression d'huile, les temps de fermeture et d'ouverture, la direction des mouvements de fermeture et d'ouverture. Un deuxième essai de durée est alors effectué au cours duquel le fonctionnement de chaque organe est contrôlé.

5. Garanties de réglage. — La figure 2 montre schématiquement le principe du fonctionnement du régulateur Escher Wyss. Lors d'une décharge brusque la tige Sp du pendule se meut vers le haut comprimant le ressort F_1 qui est beaucoup plus faible que le ressort F_2 du pendule. L'articulation A étant d'abord un point fixe, le distributeur V se déplace vers le haut et l'huile sous pression refoule le piston du servomoteur SM dans le sens de fermeture. Le point B montera donc ainsi que le piston P fixé au levier H. Ce levier est relié au balancier horizontal par une tringle St, assurant de cette façon le statisme permanent (ou degré d'irrégularité) du réglage par un asservissement rigide. La valeur du statisme peut être réglée à volonté en déplaçant le point C. En cas de coïncidence de C avec le centre fixe O, le réglage est isodrome.

a) *Réglage à vitesse constante.* — En faisant les hypothèses suivantes justifiées en partie par construction :

1° Le déplacement du piston du servomoteur est proportionnel à la variation du couple moteur agissant sur la turbine;

2° L'insensibilité du pendule peut être négligée;

3° Le déplacement de la tige du pendule est proportionnel à la variation de la vitesse;

4° La quantité d'huile aspirée par l'ouverture f_0 est proportionnelle à sa section f_0 et à la différence des pressions p_0 dans le réservoir et p dans le carter de G (loi de Poiseuille), on obtient l'expression suivante pour l'écart relatif de vitesse ν par rapport à la vitesse normale au temps t,

$$\frac{\Delta n}{n} = \nu = \mu_0 \frac{t}{T_a} - \frac{1}{T_a T_s} \frac{t^2}{2} + \delta \mu_0, \qquad (1)$$

formule dans laquelle μ_0 est la position relative du piston du servomoteur au commencement du réglage $\left(\mu_0 = \frac{m_0}{m_{max}}\right.$,

m_0 étant la distance du piston à une position extrême avant réglage, au temps t_0, et m_{max} son déplacement maximum de la marche à vide à la marche en charge); T_a est le temps de démarrage de la turbine; T_s, celui de fermeture du servomoteur; δ est le statisme permanent du réglage défini par

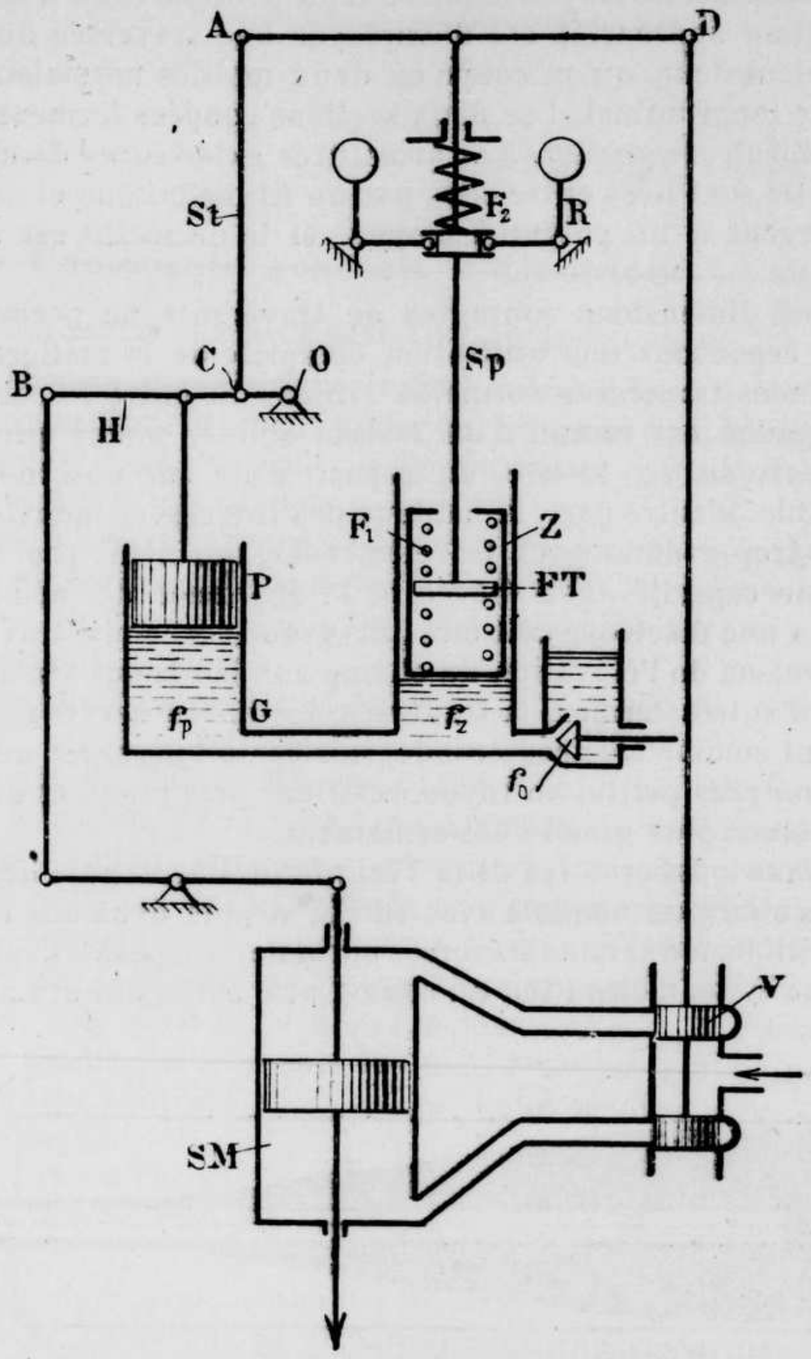


Fig. 2. — Schéma du régulateur Escher Wyss.
La flèche du servomoteur indique le sens de fermeture.

$$\delta = \frac{n_0 - n_{max}}{n}, \qquad (2)$$

(n_0, vitesse à vide, n_{max}, vitesse en charge et n, vitesse moyenne).

On a de plus

$$T_a = PD^2 \frac{n^2}{N} \frac{1}{272\,000}, \text{ en secondes,} \qquad (3)$$

PD^2 étant exprimé en kilogrammes-mètres carrés, n, en tours par minute et N, la puissance de la turbine, en chevaux, et le temps t_1 où la vitesse atteint son maximum est déterminé par l'équation

$$\frac{\mu_0}{T_a} - \frac{1}{T_s T_a} t_1 = 0,$$

d'où

$$t_1 = \mu_0 T_s. \qquad (4)$$

En introduisant cette valeur dans l'équation (1) on obtient pour l'écart maximum

$$\nu_{max} = \frac{1}{2} \mu_0^2 \frac{T_s}{T_a}.$$

Le tableau I donne quelques valeurs pour une décharge de la pleine puissance à la marche à vide ou inversement

TABLEAU I. — *Ecarts relatifs de vitesse* ν_{max} *(réglage à vitesse constante).*

$\frac{T_s}{T_a}$	0,25	0,5	0,75
$\frac{PD^2n^2}{NT_s}$	1 088 000	544 000	362 500
ν_{max}	12,5 pour 100	25 pour 100	37,5 pour 100
ν'_{max}	8,5 pour 100	21 pour 100	33,5 pour 100

($\mu_0 = 1$); ν'_{max} représente l'écart maximum par rapport au régime après le réglage en admettant un statisme permanent de 4 pour 100, tandis que ν_{max} est l'écart maximum par rapport au régime avant réglage.

b) *Réglage à vitesse variable.* — L'auteur démontre dans ce chapitre que l'écart maximum est dans ce cas une fonction quadratique de la variation de charge, si la vitesse du servomoteur est constante et une fonction linéaire, si la vitesse du servomoteur est proportionnelle au déplacement du distributeur par rapport à sa position d'équilibre. En réalité ces deux cas se combinent. Le tableau II résume, pour

TABLEAU II. — *Ecarts relatifs de vitesse* ν_{max} *(réglage à vitesse variable).*

	$\frac{T_s}{T_a}$	0,25	0,50	0,75
	$\frac{PD^2n^2}{NT_s}$	1 088 000	544 000	363 000
ν_{max}	4/4 de charge..	12,5 pour 100	25 pour 100	37,5 pour 100
	3/4 id ..	7,9	14	21
	2/4 id ..	5,2	8	10,2
	1/4 id ..	2,6	4	5,1
ν'_{max}	4/4 id ..	8,5	21	33,5
	3/4 id ..	4,9	11	18
	2/4 id ..	3,2	6	8,2
	1/4 id ..	1,6	3	4,1

les régulateurs Escher Wyss, les résultats déduits du calcul, résultats qui peuvent être considérés comme garantis, à condition que la pression à l'entrée de la turbine reste constante pendant le mouvement de réglage. — M. R.

Electrode en forme de borne condensateur empêchant l'apparition des étincelles rampantes dans les essais de rigidité diélectrique (1).

Les étincelles rampantes constituent une des plus grandes difficultés dans la réalisation des essais de rigidité diélectrique, surtout s'il s'agit de plaques isolantes minces. Leur influence perturbatrice est très prononcée si l'application de la tension est de courte durée, quand l'intensité du champ est grande et que l'isolant donne lieu à de faibles pertes; si on exécute des essais de durée sur des isolants présentant des pertes élevées on est en effet obligé, en tenant compte de l'échauffement, de maintenir le champ à une faible valeur. Les étincelles rampantes provoquent des percements sur les

(1) MATTHIAS. *Forschungshefte der Studiengesellschaft für Höchspannungsanlagen*, Berlin, numéro spécial « Isolierstoffe » février 1930, p. 61-63, 1 figure.

points non découverts des électrodes, et éloignés de plusieurs centimètres de leurs bords dans une région où l'isolant est affaibli par l'échauffement dû aux étincelles.

Si on plonge les électrodes dans un liquide isolant (huile ou xylol), les étincelles rampantes peuvent apparaître quand même dans les surfaces limites entre l'isolant liquide et solide. L'emploi des électrodes à bords arrondis empêche l'apparition de ces étincelles, mais reste limité aux plaques épaisses ; elles changent les conditions d'essai et leur application est compliquée.

Un moyen efficace d'empêcher l'apparition des étincelles consiste à répartir judicieusement la distribution du gradient du potentiel le long de la surface des électrodes. De cette manière, on évite en même temps une concentration du champ aux bords des électrodes et les percements dus à cette concentration.

Le réglage de la répartition du potentiel le long des bords des électrodes a été obtenu par Sonnenschein (1) qui a disposé cinq cylindres métalliques autour d'une des électrodes et les a connectés à une série de condensateurs, la seconde électrode étant formée par une plaque métallique simple. L'espace entre les cylindres était rempli d'air.

Le professeur Matthias, président de la Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen, a amélioré le dispositif de Sonnenschein et l'a installé au laboratoire de haute tension de la Technische Hochschule de Charlottenburg.

Uue amélioration importante a été obtenue d'abord par l'emploi de deux électrodes condensateurs, une de chaque côté de la plaque à essayer. De cette manière l'intensité du champ à la surface a été réduite de moitié pour la même tension d'essai et avec le même rayon des électrodes. Ensuite on a éliminé les condensateurs spéciaux de Sonnenschein en augmentant la capacité des cylindres, formant l'électrode et en répartissant cette capacité d'une manière rationnelle. Le moyen le plus simple pour parvenir à une disposition appropriée est d'employer une traversée du type condensateur, qu'on coupe en deux moitiés normalement à l'axe longitudinal. Les deux sections coupées forment alors les électrodes plates. Les armatures extérieures de chaque moitié sont liées entre elles par un fil métallique et elles se chargent à un potentiel moyen, si le dispositif est symétrique.

Les dimensions courantes de traversées ne permettent pas cependant une utilisation complète de la matière, car, dans les traversées normales, l'intervalle entre le collier et le boulon est rempli d'un isolant solide, tandis que dans l'électrode se trouve un espace d'air sur une longueur double. D'autre part, la hauteur des traversées industrielles est trop grande pour les électrodes, qui n'ont pas besoin d'une capacité aussi élevée et l'importance des armatures dans une électrode doit être plus grande dans une traversée, en raison de l'élévation du champ aux bords des armatures. En d'autres termes, la traversée destinée à servir spécialement comme électrode condensatrice doit posséder une longueur plus petite, un rayon extérieur plus grand et une importance plus grande des armatures.

Dans le laboratoire de la Technische Hochschule de Charlottenburg on emploie avec succès depuis deux ans un dispositif formé par une traversée normale du type à 60 kv (fig. 1). Pour éviter l'élévation du champ aux bords des armatures,

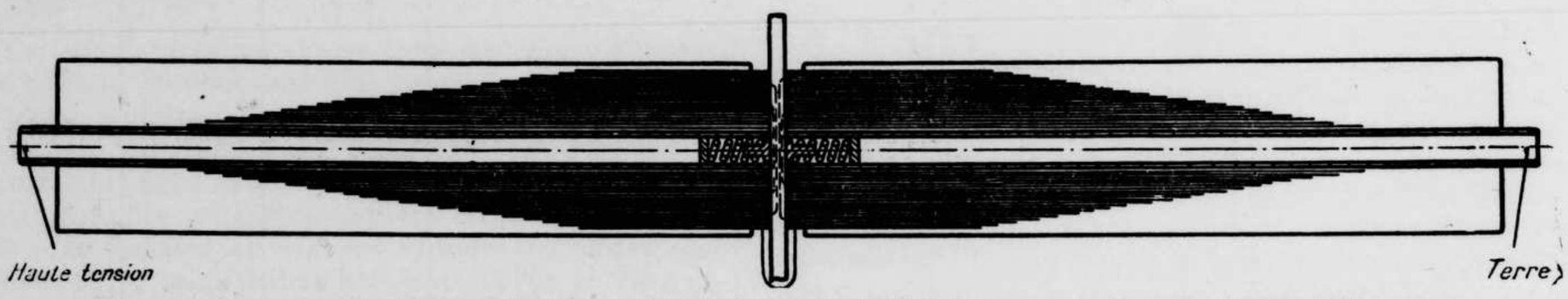


Fig. 1. — Coupe du dispositif à électrodes en forme de borne condensateur pour essais de rigidité diélectrique.

on a collé des feuilles de mica sur les sections coupées. Des disques métalliques avec des ressorts ont été prévus dans le creux de la traversée afin d'obtenir un bon contact ; (cette précaution est superflue si les électrodes, dans la partie moyenne, sont préparées d'après les procédés spéciaux, comme, par exemple, avec désagrégation de la cathode).

Avec le dispositif décrit on a obtenu des résultats suivants : on a pu essayer des plaques isolantes de 150 mm de diamètre (le diamètre de la surface des électrodes étant de 36 mm) avec des tensions allant jusqu'à 60 kv, ce qui correspond à un gradient de potentiel électrique à la surface égal à 5,5 kv:cm, sans qu'il se produise d'étincelles rampantes.

A titre de comparaison on a effectué des essais avec des électrodes à plaques épaisses avec arêtes arrondies (rayon de 5 mm) et on a constaté que des étincelles rampantes se produisaient aux tensions suivantes en valeur efficace:

Disques isolants de 0,3 mm d'épaisseur, 10 kv ;

Disques isolants de 0,8 mm d'épaisseur, 16 kv ;

Disques isolants de 1,8 mm d'épaisseur, 20,5 kv ;

Disques isolants de 10 mm d'épaisseur, 27 (sans perforation).

La tension a été augmentée jusqu'à la perforation à raison de 1 kv: mm par seconde. Les tensions de perforation obtenues avec les électrodes planes sont de 10 à 15 pour 100 plus faibles que celles obtenues avec les électrodes condensatrices ; d'autre part, les points de perforation sont situés au-dessous des bords arrondis des plaques dans les endroits les plus échauffés par des étincelles rampantes bien marquées.

Les points de perforation avec les électrodes condensatrices sont, par contre, toujours situés dans la partie moyenne au-dessous de l'électrode proprement dite, mais non tant dans la région où le potentiel est réparti qu'au-dessous des bords des armatures.

Les diamètres des plaques isolantes essayées ne dépassaient pas 150 mm pour des tensions allant jusqu'à 60 kv, tandis qu'avec les électrodes simples, l'adoption de dimensions beaucoup plus importantes s'imposait. — A. Segall.

(1) *Archiv für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 496.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie générale d'Electricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 21 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 130 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 54, rue La Boëtie, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Abondamment pourvues de commandes, les usines ont pu, pour la plupart, travailler à plein rendement et réaliser. au total, un chiffre de production qu'elles n'avaient encore jamais atteint.

Les résultats obtenus ont été, dans leur ensemble, satisfaisants.

Le cours du cuivre électrolytique a subi, au début de l'année dernière, du fait du Cartel américain des Producteurs, une hausse brusque et excessive, qui a eu sur les prix des autres métaux importés une répercussion plus ou moins accentuée. Ce mouvement a d'ailleurs été de courte durée et, dès le mois d'avril 1929, le cuivre se stabilisait au cours de 18,30 cents la livre qu'il a conservé jusqu'au mois dernier, tandis que le plomb, le zinc, l'étain amorçaient une baisse qui a continué depuis lors d'une manière presque ininterrompue.

Les ventes d'énergie des filiales de distribution, favorablement influencées par l'activité générale de l'industrie, ont marqué, au cours du dernier exercice, une nouvelle étape de progression ; le nombre de kilowatts-heures vendus est en effet supérieur de 11 pour 100 au chiffre correspondant de 1928.

Voici d'ailleurs les résultats des ventes réalisées au cours de ces dernières années, se rapportant aux seules entreprises dont la moitié au moins du capital appartient aux sociétés du groupe Compagnie générale d'Electricité et qui ne tiennent pas compte des échanges d'énergie entre les différentes sociétés du groupe : année 1922, 187 527 000 kw-h ; année 1923, 221 933 000 kw-h ; année 1924, 242 182 000 kw-h ; année 1925, 344 172 000 kw-h ; année 1926, 365 383 000 kw-h ; année 1927, 365 461 000 kw-h ; année 1928, 419 692 000 kw-h ; année 1929, 465 712 855 kw-h.

La compagnie n'a créé, au cours de l'exercice, aucune entreprise importante et les quelques participations nouvelles qu'elle a prises dans des affaires existantes n'ont pas revêtu une ampleur suffisante pour qu'il soit intéressant de s'y arrêter.

Voici quelques renseignements sur celles des affaires anciennes qui doivent cette année retenir l'attention.

Câbles de Lyon. — En soumettant, au mois de décembre 1925, le projet de fusion de la Compagnie générale des Câbles de Lyon avec la Compagnie générale d'Electricité, le conseil d'administration de cette dernière indiquait que l'opération envisagée devait entraîner des avantages importants. Les événements ont confirmé ses prévisions : des économies considérables, d'ordre fiscal principalement, ont pu être réalisées ; en outre, la manufacture de fils et de câbles électriques de Lyon a trouvé, dans son rattachement direct à la Compagnie générale d'Electricité, l'appui que les circonstances rendaient nécessaire. Elle a ainsi pu poursuivre son développement dans des conditions satisfaisantes et, en particulier, conquérir une place de premier ordre dans l'industrie des fils et câbles sous caoutchouc.

De 1925 à 1929, le chiffre d'affaires total a plus que doublé.

Si ce résultat a pu être obtenu sans extension notable des usines, il a fallu cependant entreprendre des travaux importants dans la section des câbles armés, dont le plan général ne correspondait plus aux nécessités d'une production considérablement accrue.

Sans modifier les bâtiments existants, on a un peu augmenté leur surface et, surtout, profondément remanié la disposition des machines à l'intérieur des ateliers, de manière à obtenir un cycle de fabrication tout à fait rationnel. On y a gagné de produire davantage et dans de meilleures conditions tout en réalisant une économie intéressante sur la main-d'œuvre de manutention.

Parallèlement à cette réorganisation industrielle, la section « câbles armés » a été dotée de moyens de contrôle et de recherche nouveaux. L'ancien laboratoire, installé en 1922, était devenu, en effet, insuffisant pour les essais de durée sous tension très élevée, dont les recherches récentes ont montré la nécessité. Il lui a été substitué une station d'essais nouvelle, dont l'équipement puissant est spécialement adapté aux besoins modernes de l'industrie des câbles. Elle dispose d'appareils pouvant fournir une tension alternative de 700 000 v ou continue de 1 500 000 v. Cette station d'essais, dont l'inauguration a eu lieu le 13 mai 1930, en présence de nombreuses notabilités, compte certainement parmi les plus importantes et les mieux outillées du monde.

Si les différentes sections des usines de Lyon ont pu, jusqu'ici, faire face au développement de la fabrication sans augmentation notable, certaines d'entre elles commencent à atteindre la limite de leur capacité de production.

C'est, en particulier, le cas de la section des câbles téléphoniques.

Aussi a-t-on pris la décision de transporter leur fabrication dans une usine nouvelle où elle pourra recevoir toute l'extension nécessaire. Les plans viennent d'être arrêtés et les travaux seront commencés incessamment.

Compagnie des Lampes. — Grâce au développement de la consommation des lampes, due à la fois à l'extension continue des réseaux de distribution et au perfectionnement des méthodes d'éclairage auquel la Compagnie des Lampes a, depuis sa fondation, apporté ses efforts, les résultats de cette société ont suivi, au cours de ces dernières années, une progression régulière.

Les bénéfices disponibles, après déduction de toutes les charges sociales et prélèvement des sommes nécessaires à de larges amortissements, ont, en effet, passé de 11 773 500 fr, en 1925, à 17 482 745 fr en 1926, 18 104 919 fr en 1927, 19 106 798 fr en 1928 et 21 772 095 fr en 1929.

Pour ce dernier exercice, il sera proposé à l'assemblée générale de distribuer un dividende de 80 fr par action et 87,50 fr par part de fondateur.

Au mois de juin 1929, la Compagnie des Lampes a absorbé, par voie d'apport-fusion, deux sociétés dans lesquelles elle possédait déjà des intérêts importants, la Société Lacarrière pour la Fabrication des Lampes électriques à Incandescence, société anonyme au capital de 4 millions de francs, et la Compagnie lorraine de Lampes électriques, société anonyme au capital de 5 750 000 fr.

Du fait de cette double opération et d'une émission complémentaire d'actions qui ont été souscrites en espèces par les anciens actionnaires, le capital de la société a été porté de 60 à 70 millions de francs.

Un des principaux avantages de la concentration industrielle qui a été la base même de la création de la société, et dont les fusions récemment réalisées ne sont qu'une étape nouvelle, réside dans les économies et l'augmentation des moyens d'action qu'elle permet d'obtenir en regroupant rationnellement des fabrications précédemment dispersées.

Les résultats obtenus par la Compagnie des Lampes depuis sa fondation témoignent des avantages de cette politique.

Compagnie générale d'Entreprises électriques. — Le volume des affaires qu'elle traite continuant à s'accroître régulièrement, cette filiale a été amenée, au cours de l'année 1929, à se procurer des ressources nouvelles.

Elle a porté son capital de 12 à 20 millions de francs par la création de 16 000 actions nouvelles, d'une valeur nominale de 500 fr. D'autre part, elle a émis un emprunt obligataire 5,50 pour 100 d'une valeur nominale de 16 millions de francs, dont le produit a été consacré, pour moitié environ, à la conversion des 8 millions de francs de bons 8 pour 100 créés en 1926.

Bien que les comptes de l'exercice clos le 31 mars dernier ne soient pas encore définitivement arrêtés, il est, dès à présent, certain que les bénéfices réalisés permettront de maintenir le dividende à 12 pour 100 malgré l'augmentation du nombre d'actions à rémunérer.

Ateliers de Constructions électriques de Delle. — Du fait de l'achèvement des travaux d'agrandissement, l'usine de Villeurbanne dispose de moyens de production accrus et, en particulier, d'un grand hall nouveau d'une surface totale de 3 000 m^2 environ.

Le développement de son activité a conduit cette filiale à porter son capital de 6 à 16 millions de francs et à procéder, au mois de mars dernier, à une émission d'obligations 5 pour 100 d'un montant nominal de 12 millions de francs.

La moitié environ des disponibilités provenant de cette dernière opération a été affectée au remboursement anticipé des obligations 6,50 pour 100 que les Ateliers de Delle avaient émises en 1921.

Les résultats de l'exercice 1929 ont permis de maintenir à l'ensemble des actions anciennes et nouvelles le dividende de 18 pour 100 distribué pour l'exercice 1928.

Signalons, pour terminer, que grâce à la puissante station d'essais qu'elle a mise en service l'an dernier dans son usine de Villeurbanne, la société a pu apporter à sa fabrication de disjoncteurs des perfectionnements intéressants et entreprendre des études techniques de longue haleine dont elle recueillera ultérieurement les fruits.

Union houillère et électrique. — Les résultats enregistrés par cette société au cours de son troisième exercice social, clos le 30 juin 1929, ont été tout à fait satisfaisants.

Les bénéfices nets, après affectation d'une somme de 4 millions de francs à un compte de provision pour régularisation de dividende, se sont élevés à 5 586 000 fr, ce qui a permis, tous les frais de constitution et d'augmentation de capital ayant été précédemment amortis, de distribuer aux actions un dividende de 7 pour 100.

Le surplus des bénéfices, joint au reliquat de l'exercice précédent, forme au bilan un report à nouveau de 2 385 000 fr.

Le champ d'activité de la société s'élargissant de plus en plus, elle a décidé, en décembre dernier, de se procurer des ressources nouvelles en portant son capital de 100 à 150 millions de francs. Les titres nouveaux, d'une valeur nominale de 100 fr, ont été émis avec une prime de 75 fr; ils ont été souscrits par le groupe de la Compagnie des Mines d'Ostricourt et par celui de la Compagnie générale d'Electricité.

L'Electricité de Marseille. — Cette société a entrepris, depuis 1927, de grands travaux de modernisation et d'extension.

Les nouvelles installations de l'usine thermique du Cap Pinède ont été achevées au cours de l'année écoulée et cette usine dispose maintenant de deux nouveaux groupes très modernes de 15 000 kw chacun, dont la mise en service s'est effectuée sans incident notable.

Ce n'est d'ailleurs là que la première étape d'un important programme d'équipement, dont la réalisation va être activement poursuivie. C'est ainsi qu'un troisième groupe, identique aux précédents, c'est-à-dire d'une puissance de 15 000 kw en marche économique, vient d'être commandé.

D'autre part, l'aménagement du réseau souterrain à 35 000 v, destiné à remplacer les feeders à 5 500 v existants, est en voie d'achèvement. Toutes les canalisations ont été posées et l'installation des postes de transformation 35 000/5 500 v sera effectuée prochainement.

En vue de couvrir les dépenses résultant de cet important programme de travaux, la société a contracté, en novembre 1929, un emprunt obligataire de 50 millions de francs. Elle vient, en outre, de procéder à une augmentation de capital de 85 à 120 millions de francs, augmentation qui a été souscrite, à parts égales, par le groupe de la Société du Gaz et de l'Electricité de Marseille et par celui de la Compagnie générale d'Electricité.

Le bilan de l'exercice 1929 a marqué une nouvelle progression des bénéfices. Les produits nets, après déduction de 12 millions de francs affectés aux fonds d'amortissement et de renouvellement, se sont élevés en effet à 19 565 000 fr contre 17 992 000 fr en 1928.

Il doit être proposé à l'assemblée générale de maintenir sensiblement le dividende des actions en le fixant à 11,50 pour 100 brut contre 12,50 pour 100 l'an dernier, bien que le capital à rémunérer ait passé, dans l'intervalle, de 85 à 120 millions de francs.

Les parts bénéficiaires recevraient ainsi 31,70 fr chacune au lieu de 27,50 fr pour l'exercice précédent.

Compagnie lorraine d'Electricité. — La marche générale de cette filiale a continué à donner toute satisfaction. Le chiffre des ventes est en nouvelle progression et les produits industriels marquent un accroissement de plus de 6 millions de francs, passant de 25 488 000 fr en 1928 à 31 558 000 fr en 1929.

Pour faire face à ses besoins croissants d'énergie, cette société procède actuellement à l'extension de l'usine de Vincey, où seront installés successivement deux nouveaux groupes de 20 000 kw chacun qui porteront à 80 000 kw la puissance totale de cette usine.

Elle a, d'autre part, déposé des demandes de concession pour de nouvelles artères de transmission à 150 000 v qui lui permettront d'accroître parallèlement ses échanges d'énergie avec les centres producteurs voisins.

Ces différents travaux devant entraîner une dépense de

l'ordre de 50 millions de francs, la société, désireuse de ménager ses disponibilités et de maintenir la proportion existant entre son capital-actions et l'actif immobilisé, a décidé de porter dès à présent son capital de 40 à 60 millions de francs par l'émission au pair de 200000 actions nouvelles de 100 fr.

Bien que les bénéfices nets de l'exercice 1929, qui se montent à 18 565 000 fr contre 14 994 000 fr l'année précédente, eussent permis une majoration du dividende, ce dernier a été, en raison de l'augmentation de capital dont il vient d'être question, maintenu au même taux qu'en 1928, soit 18 fr par action entièrement libérée et 80 fr par part de fondateur.

Nous avons signalé l'an dernier l'important litige qui s'était élevé entre la Compagnie lorraine d'Electricité et l'Administration des Douanes à propos de la taxe sur le courant importé. Comme il était escompté, une transaction amiable est intervenue, qui a définitivement réglé le conflit, sans autre conséquence, pour cette filiale, que l'obligation d'acquitter tous les droits afférents à l'énergie importée.

Lorraine-Champagne. — Constituée au début de 1928, sur l'initiative de l'Union houillère et électrique et de la Sidérurgie lorraine, avec le concours ultérieur de la Société des Usines à Gaz du Nord et de l'Est et des Compagnies réunies de Gaz et d'Electricité, cette société a pour objet de transmettre et de vendre, dans la région champenoise, une partie de l'énergie électrique produite dans le bassin sidérurgique au moyen de gaz de hauts fourneaux.

La première partie du programme de Lorraine-Champagne, qui consistait à établir une ligne de transmission à 150 000 v partant de Landres, poste de concentration de la Sidérurgie lorraine, pour aboutir à Revigny, centre d'alimentation de plusieurs réseaux de distribution, est déjà réalisée. Cette importante artère, d'une longueur de 80 km, avec des portées de 300 m, a été construite par la Compagnie générale d'Entreprises électriques, dans des conditions très remarquées. Commencés le 1er mars 1929, les travaux étaient achevés dès fin octobre de la même année.

La Société Lorraine-Champagne se propose actuellement de concourir à l'alimentation d'autres secteurs de la région champenoise au moyen de l'établissement de deux nouvelles lignes partant de Revigny, l'une vers Reims, l'autre vers Troyes.

Par ailleurs, elle a contribué, avec les Compagnies réunies de Gaz et d'Electricité et la Compagnie bourguignonne de Transport et d'Energie, à la formation de la Société hydro-électrique de la Cure, qui doit installer, sur la rivière la Cure, affluent de l'Yonne, plusieurs usines hydro électriques, d'une puissance globale de 50 000 kw.

Le rapport du conseil d'administration de la Compagnie générale d'Electricité signale, d'autre part, que ladite compagnie a construit, sur l'emplacement des anciens hôtels qui portaient les numéros 10 et 12 de la rue de La Baume, un bâtiment de six étages, d'une surface couverte de 366 m², qui constitue le dernier stade du plan d'ensemble établi à l'origine de son installation rue La Boëtie. Les travaux d'aménagements intérieurs sont en voie d'achèvement.

Ce même rapport signale que l'exercice 1929 s'est déroulé dans des circonstances favorables à l'industrie électrique, base essentielle de l'activité de la compagnie. Les bénéfices nets, tels qu'ils résultent du bilan, se sont élevés à 27 614 548 fr, en augmentation de 6 620 765 fr sur ceux de l'exercice précédent (1).

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 20 juillet 1929, t. XXVI, p. 113.

Le capital à rémunérer s'étant, dans l'intervalle, accru de 30 millions de francs, le dividende est maintenu à 85 fr par action, payables dans les conditions habituelles, ce dividende s'appliquant à la totalité des 260 000 actions de 500 fr formant le capital actuel de 130 millions de francs.

Profitant des dispositions favorables du marché des valeurs à revenu fixe, la compagnie a converti ses obligations 6 pour 100 de 1917, 1919 et 1923 et ses bons 7 pour 100 1926 restant en circulation, en émettant un emprunt obligataire nouveau, du type 4,50 pour 100 demi-net, pour un montant nominal de 225 millions de francs.

Après prélèvement des sommes nécessaires au remboursement de la dette convertie il est resté un excédent de ressources qui est venu alimenter la trésorerie.

L'ensemble des comptes reflète le développement de l'activité industrielle de la compagnie au cours de l'exercice écoulé. C'est ainsi que le total du bilan, 857 079 234 fr, accuse une augmentation de 251 643 404 fr sur le chiffre correspondant de l'an dernier. Voici comment s'expliquent les principales différences.

A l'actif, les acquisitions et travaux neufs imputés à l'exercice atteignent 28 246 869 fr. Cette somme a été presque entièrement consacrée à la modernisation et à l'extension des usines.

L'importance exceptionnelle du poste caisse et banquiers, 45 406 246 fr, est due à l'encaissement, dans les derniers jours de décembre, du solde qui restait à verser sur les 60 000 actions émises en mars 1929.

Le compte débiteurs divers, 131 025 530 fr, présente une augmentation de 32 583 034 fr, conséquence de l'accroissement du chiffre d'affaires.

Pour la même raison, l'ensemble des produits fabriqués ou en cours de fabrication, des matières premières et des approvisionnements divers s'est accru de 51 279 341 fr, passant à 146 252 940 fr.

Comme l'an dernier, les métaux ont été inventoriés aux prix d'achat ou aux cours du 31 décembre, si ceux-ci sont inférieurs, la provision régulatrice restant tout entière inscrite au passif parmi les comptes d'attente.

Le portefeuille, titres et participations, s'élève à 270 831 961 fr, en augmentation de 78 829 334 fr. Cet accroissement provient surtout d'augmentations de capital et d'appels de libération faits par des sociétés dans lesquelles la compagnie était déjà intéressée.

Le capital s'est accru de 30 millions de francs, valeur nominale des 60 000 actions créées en mars 1929. Il a été porté à un compte spécial de réserve la totalité de la prime provenant de l'émission de ces actions.

L'ensemble des effets à payer, créditeurs divers, provisions et comptes d'attente marque une progression de 61 039 084 fr. Une part notable de cette augmentation constitue la contre-partie de l'accroissement du fonds de roulement constaté à l'actif; les provisions qui figurent dans ce poste se sont aussi légèrement accrues.

Enfin, les comptes courants des filiales et participations, 97 460 696 fr, présentent une augmentation de 31 862 117 fr due aux disponibilités provisoirement déposées à la compagnie par diverses sociétés du groupe.

La répartition des bénéfices, basée sur les prescriptions des statuts et sur l'attribution d'un dividende brut de 17 pour 100 l'an de la valeur nominale des titres, c'est-à-dire de 85 fr par action, se présente comme il suit: les bénéfices nets s'élèvent à 27 614 548,70 fr; la réserve générale, constituée par le montant de l'amortissement annuel des obligations, absorbe 2 451 500 fr; le prélèvement de 5 pour 100

sur la réserve légale se monte à 1 258 152,45 fr; sur le solde de 23 904 896,25 fr le conseil a statutairement droit à 5 pour 100, soit, 1 195 244,80; le dividende de 85 fr par action absorbe 22 100 000 fr.

En ajoutant le reliquat de l'exercice précédent, soit 1 474 069,85 fr, il reste disponible une somme de 2 083 721,30 fr qui forme le report à nouveau.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Terrains, immeubles, constructions, matériel, concessions et clientèle	124 671 700,80
Acquisitions et travaux neufs de l'exercice	28 246 869,05
Caisse et banquiers	45 406 246,05
Effets à recevoir	3 301 352,55
Débiteurs divers	131 025 530,25
Comptes courants des filiales et des participations	107 342 629,90
Produits fabriqués	42 041 368,80
Matières premières, produits en cours de fabrication et approvisionnements divers	104 211 571,60
Titres et participations	270 831 961,30
Apports	1 »
Brevets et licences	1 »
Frais de constitution	1 »
Prime de remboursement et frais d'émission des bons et obligations	1 »
	857 079 234,30

Passif.

	fr
Capital actions	130 000 000 »
Réserve légale	9 402 416,05
Réserve générale	21 708 500 »
Réserve supplémentaire	26 850 000 »
Réserve prime sur actions émises en 1929	120 000 000 »
Obligations 4 pour 100 moins remboursements	12 802 500 »
Obligations 6 pour 100 moins remboursements	83 037 500 »
Bons 1926	50 000 000 »
Effets à payer, créditeurs divers, provisions et comptes d'attente	264 755 068,45
Coupons à payer, obligations à rembourser	11 973 934,30
Comptes courants des filiales et des participations	97 460 696,95
Bénéfices nets de l'exercice 1929	27 614 548,70
Reliquat de l'exercice précédent	1 474 069,85
	857 079 234,30

Electricité de la Seine.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 20 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 100 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'usine de la société est depuis sa mise en marche en progrès constants, comme on peut le constater d'après la production des trois premières années d'exploitation : 1927, 11 669 945 kw-h ; 1928, 53 823 350 kw-h ; 1929, 59 153 376 kw-h.

Actuellement, quatre groupes turboalternateurs de 15 000 kw sont installés.

Lors de la constitution de la société, l'usine génératrice devait tout d'abord remplacer l'ancienne usine de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris et un seul groupe suffisait pour assurer les fournitures prévues contractuellement.

Depuis, la société s'est assuré des fournitures complémentaires à cette compagnie et des fournitures à la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.

Le poste de transformation installé sur le terrain de Conflans a été récemment mis sous tension dans les meilleures conditions ; la société contribue désormais à l'alimentation en énergie de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, et un deuxième groupe turboalternateur a été mis en service dans ce but.

Pour satisfaire aux demandes d'énergie prévues dans les nouveaux contrats qui sont mis progressivement en application, les deux groupes turboalternateurs utilisés sont à peine suffisants et on prévoit dès à présent que, avant la fin de l'année, il sera nécessaire de mettre en marche continue un troisième groupe turboalternateur.

L'entreprise se développe donc d'une façon normale et satisfaisante, cependant il y aura lieu de se préoccuper, dans un avenir prochain, de l'installation de nouveaux groupes pour faire face à l'augmentation prévue des ventes d'énergie.

La concession pour distribution aux services publics, que la société avait sollicitée, lui a été définitivement accordée.

On peut espérer que, durant l'exercice en cours, la liaison par câbles entre le poste de transformation de Conflans et le poste de transformation que la Société d'Electricité de Paris fait édifier à Saint-Denis sera réalisée.

La société dont nous nous occupons a pris une participation dans la constitution de la Société pour le Transport de l'Energie électrique du Massif central.

Les résultats de l'exercice écoulé permettent d'effectuer les répartitions suivantes : 17,50 fr aux actions ordinaires et de priorité; 2,50 fr aux actions de jouissance; 33,33 fr aux parts de fondateur.

Le crédit du compte de profits et pertes comprend : le report de l'exercice précédent, 137 455,69 fr; les bénéfices industriels et le solde créditeur du compte escomptes et intérêts et divers, 9 112 511,91 fr.

Au débit figurent : les frais généraux d'administration et taxe d'abonnement au timbre des titres de la société, 636 088,20 fr.

Le solde bénéficiaire de l'exercice s'établit ainsi à 8 613 879,40 fr et est réparti comme il suit : réserve légale 5 pour 100 de 8 476 423,71 fr, 423 821,19 fr ; fonds d'amortissement des actions de priorité, 417 475 fr; dividende statutaire de 6 pour 100 au capital versé, 6 000 000 fr ; 5 pour 100 au conseil d'administration, 88 629,16 fr ; deuxième dividende, 2,50 fr aux actions de priorité, de jouissance et ordinaires, 1 000 000 fr ; 33,33 fr aux parts de fondateur. 666 600 fr.

Le solde à reporter à l'exercice 1930 s'élève à 17 354,05 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Caisses, banques et débiteurs divers	34 891 261,81
Portefeuille	1 888 583 »
Approvisionnements	1 011 100,81
Frais de constitution de la société, 2 843 946,32 fr, moins amortissement, 1 545 667,75 fr	1 298 278,57
Premier établissement, 79 367 901,58 fr, moins amortissement, 1 000 000 fr	78 367 901,58
Compte d'ordre (cautionnement d'administrateurs)	275 000 »
	117 732 125,77

Passif.

	fr
Capital	100 000 000 »
Réserve légale	344 997,67
Créditeurs divers	8 300 974,72
Actions amorties et dividende restant à payer	197 273,98
Comptes d'ordre (contre-partie de l'actif)	275 000 »
Profits et pertes	8 613 879,40
	117 732 125,77

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 8. — 23 AOUT 1930.

Chronique. — Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique : Congrès de Bruxelles (4-14 septembre 1930), p. 257. — Union des Syndicats de l'Electricité : Normalisation des transformateurs de mesure et des appareils de mesure, p. 257. — Bibliographie : Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire, par Louis DE BROGLIE, p. 258 ; Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques, par René CHAMPLY, p. 258.

Section scientifique et technique. — A propos de la décomposition des systèmes de trois vecteurs déséquilibrés, par Jules YERNAUX, p. 259. — Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne, par Joseph-Maxime PESTARINI, p. 260. — Revues, analyses et informations : Analyse harmonique des ondes électriques avec le voltmètre thermoionique, p. 270 ; Appareils producteurs de rayons X, intenses et monochromatiques de très grande longueur d'onde. Tube à rayons X à potentiels échelonnés fonctionnant sous haute tension, p. 271 ; Recherches sur la cataphorèse de petites particules en suspension dans l'eau, p. 272.

Section industrielle. — Les organes de pivotage des compteurs d'électricité, par G. GRUNBERG, p 273. — Un nouveau régulateur de température, par Léon DUBAR, p. 283. — Revues, analyses et informations : Extinction des arcs de grande longueur en courant alternatif, p. 287.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Union d'Electricité, p. 289 ; Electricité de Strasbourg, p. 290.

Section de législation. — Une intéressante application de l'article 30, dit des pénalités et amendes du cahier des charges, à l'occasion de l'extension d'un réseau (Arrêt du Conseil d'Etat du 23 mai 1930), par Paul BOUGAULT, p. 293. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt du Conseil d'Etat concernant l'amende encourue pour refus de communication de la comptabilité commerciale, p. 295 ; Arrêt de la Cour de Cassation concernant les amendes encourues pour contraventions à la législation sur la durée du travail, p. 296 ; Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux des exercices clos pendant le premier trimestre 1930, p. 296 ; Sur les subventions accordées aux anciens combattants pour la constitution d'une retraite, p. 296.

Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique : Congrès de Bruxelles (4-14 septembre 1930).

— Créée en 1925 (1), l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique tint son premier congrès dès le mois de septembre de l'année suivante à Rome (2). Son second congrès eut lieu deux ans plus tard à Paris en juillet 1928 (3) ; son troisième se tiendra du 4 au 14 septembre prochain à Bruxelles.

La séance solennelle d'ouverture, qui sera présidée par le ministre des Travaux publics de Belgique, se tiendra le jeudi 4 septembre à 15 heures au Palais des Académies. Après la séance, les congressistes se rendront au Résidence Palace où un thé leur sera offert par l'Union des Exploitations électriques en Belgique et où une causerie liminaire avec projections cinématographiques sera faite par M. L. Herry, administrateur-directeur des Centrales électriques des Flandres et du Brabant, sur « La centrale moderne ».

Les séances de travail occuperont les matinées et après-midi des vendredi, samedi, mardi et mercredi. Les journées des dimanche et lundi seront consacrées à une excursion en autocars dans le nord de la Belgique et dont l'itinéraire comprendra Gand, Ostende, Zeebrugge et Bruges. A la suite de la dernière séance de travail se tiendra l'Assemblée générale de l'Union, qui clôturera le congrès.

Trois excursions auront lieu après le congrès. La première a pour but la visite d'Anvers et de l'Exposition internationale qui s'y tient actuellement ; elle occupera la journée du jeudi 11 septembre. La seconde, qui aura lieu le lendemain, conduira les congressistes à Charleroi où ils visiteront plusieurs établissements industriels. La troisième, à laquelle seront consacrées les journées des samedi et dimanche 13 et 14 septembre, a pour itinéraire Bruxelles, Liége, Spa, les grottes de Han, Namur, Bruxelles.

Des réceptions et des visites d'usines auront lieu au cours du congrès et des excursions.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 9 mai 1925, t. XVII, p. 707.
(2) *Idem*, 2 et 9 octobre 1926, t. XX, p. 465-466 et 497-498 ; 19 et 26 mars, 2, 9, 16, 23 et 30 avril et 7 mai 1927, t. XXI, p. 462-466, 496-508, 539-547, 582-598, 628-632, 663-670, 704-711 et 740-750.
(3) *Idem*, 3 mars, 26 mai et 23 juin 1928, t. XXIII, p. 63 B, 817, 162 B, 194 B ; 14 et 28 juillet, 4, 11, 18 et 25 août, 1er, 8, 15, 22 et 29 septembre, 6 et 13 octobre 1928, p. 49, 133-136, 171-178, 203-210, 235-242, 257-274, 299-306, 339-352, 379-386, 419-426, 459-462, 499-506 et 539-542.

Union des Syndicats de l'Electricité : Normalisation des transformateurs de mesure et des appareils de mesure.

— L'Union des Syndicats de l'Electricité a décidé d'annuler l'ancienne édition du 4 février 1925

du fascicule 87 « Normalisation des transformateurs de mesure, des appareils de mesure et des shunts » et de la remplacer par l'ensemble des deux fascicules suivants :

1° *Fascicule n° 87.* — Normalisation des appareils de mesure et des shunts (édition du 4 juin 1930).

2° *Fascicule n° 92.* — Normalisation des transformateurs de mesure (édition du 4 juin 1930).

Chacun d'eux est mis en vente séparément au prix de 5 fr l'exemplaire.

Bibliographie : Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire, par Louis de Broglie (1), maître de conférences à la Sorbonne, lauréat du prix Nobel de physique, 1929. — L'auteur se propose, dans cet ouvrage, de montrer comment s'effectue la transition de la mécanique classique à la mécanique ondulatoire, d'où son plan bien défini. Les premiers chapitres sont consacrés aux principes de la mécanique classique ; à ce propos, M. de Broglie distingue l'ancienne mécanique, celle de Newton, et la mécanique de la relativité, sur laquelle il ne s'étend d'ailleurs pas. Suit un chapitre intitulé « idées de base de la mécanique ondulatoire », présentant un intérêt d'autant plus grand que la conception de ces idées est due, comme on le sait, à l'auteur lui-même qui les expose ; dans ce chapitre est établie la transition entre la mécanique classique et la mécanique ondulatoire, c'est-à-dire la synthèse des deux conceptions « ondes » et « corpuscules ».

Après quelques développements sur la propagation des ondes, M. de Broglie montre comment doit être conçue l'association des corpuscules à cette propagation ; il introduit ici les notions de probabilité de présence et de nuage de probabilité qui s'étendent en dehors du domaine de l'optique géométrique, ainsi que le montrent les expériences relatives à la diffusion des ondes.

La transition étant établie, les chapitres suivants traitent des problèmes que soulève la nouvelle mécanique ondulatoire. C'est d'abord la double incertitude résultant de la définition du corpuscule par son onde associée, première incertitude sur la position du corpuscule, d'après le principe des interférences et deuxième incertitude sur l'état de mouvement du corpuscule, d'après le principe de Max Born, dit de décomposition spectrale. C'est l'interprétation de cette double incertitude que donne la théorie d'Heisenberg et de Bohr ; celle-ci fait l'objet de plusieurs chapitres dans lesquels l'auteur expose d'abord la théorie elle-même, sa confirmation par les possibilités de mesure ensuite, et enfin son application à l'étude de la propagation d'un train d'ondes ψ en l'absence de tout champ et dans un champ uniforme. Les considérations développées pour un seul corpuscule sont ensuites étendues au cas d'un ensemble de corpuscules réagissant les uns sur les autres.

Que devient, dans la mécanique ondulatoire, la notion des quanta ? Telle est une autre question que traite l'auteur dans un des derniers chapitres après avoir rappelé ce qu'était cette notion dans la mécanique classique ; il montre enfin comment ces considérations peuvent s'appliquer aux systèmes atomiques quantifiés,

Si le nom de l'auteur suffit pour assurer le succès de cet ouvrage, nous croyons devoir insister, sinon sur la valeur même de son exposé, au moins sur sa clarté qui est telle que les questions traitées paraissent, à la première lecture, remarquablement simples ; l'enchaînement des raisonnements, d'une part, confirmés par les faits, d'autre part, essi nettement établi et avec une telle vigueur que la conclut sion s'impose à l'esprit malgré les lacunes que peut présenter telle théorie, honnêtement signalées d'ailleurs par l'auteur. A cette clarté de l'exposé, qui caractérise le génie français, s'ajoute une grande simplicité dans les développements mathématiques qui s'imposent dans une étude de ce genre ; et, à ce propos, il importe de souligner le fait que l'auteur ne s'est pas cru obligé de faire appel à des expériences ni à des notations familières aux initiés seulement. Désireux de faire comprendre à tous ceux que la question intéresse ce qu'est la nouvelle mécanique ondulatoire, son origine et ce qu'on peut en espérer, il ne s'écarte pas dans ses développements mathématiques des formes d'un usage courant dans l'ancienne mécanique ; il parle un langage classique. — A. C.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 202 pages, avec figures dans le texte, édité par la librairie Hermann et Cie, 6, rue de la Sorbonne, à Paris (5e). Prix : broché, 85 fr.

Bibliographie : Moteurs à vent, moteurs hydrauliques, moteurs électriques, par René Champly (1). — Ce nouvel ouvrage vient compléter la Nouvelle Encyclopédie pratique des Constructeurs, Mécaniciens, Chaudronniers, Electriciens, publiée par M. René Champly. Il constitue une étude très documentée des moteurs à vent, anciens moulins à vent et aéromoteurs, des roues et des turbines hydrauliques de tous genres. Toutefois, l'auteur traite assez succinctement des moteurs électriques, ce sujet faisant, par ailleurs, l'objet d'un grand nombre de traités très complets.

Cet ouvrage, conforme à l'esprit de la collection à laquelle il appartient, a pour but de mettre la théorie et la technique à la portée des praticiens n'ayant qu'une instruction élémentaire. Il fournit des données pratiques, applicables immédiatement et sans calculs trop compliqués au montage, à la manœuvre, à l'entretien et aux réparations courantes des machines considérées.

La première partie est consacrée aux moteurs à vents ; l'auteur y étudie successivement les anciens moulins à vent, les aéromoteurs ou turbines éoliennes, les pylônes, l'utilisation des moteurs aériens et les pananémones. La seconde partie est consacrée à la législation des cours d'eau, à la détermination des débits d'eau, de la hauteur de chute et de la puissance disponible ; il y est également question de l'aménagement des chutes d'eau, des moteurs, des roues et des turbines hydrauliques et des régulateurs de diverses catégories. Enfin, la troisième partie concernant les moteurs électriques comprend des généralités sur les moteurs à courant continu, sur ceux à courants alternatifs, sur la ventilation des machines électriques et enfin sur les causes des accidents pouvant survenir aux machines électriques.

Les nombreux tableaux de chiffres et les formules pratiques donnés pour la construction, l'installation et le rendement des moteurs à eau et à vent, font de ce volume un aide précieux pour tous ceux qui veulent utiliser les forces naturelles mises à notre disposition. — R. L.

(1) Un volume, format 18 cm × 11,5 cm, de 272 pages, avec 160 figures dans le texte, édité par la Librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : broché, 25 fr ; cartonné toile, 30 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

A propos de la décomposition des systèmes de trois vecteurs déséquilibrés

L'auteur donne une solution géométrique du problème bien connu de la décomposition d'un système de trois vecteurs quelconques en trois systèmes de vecteurs équilibrés et il en dégage un procédé rapide pour déterminer les intensités et les phases des divers systèmes composants.

I. **Première proposition.** — Soient (fig. 1) trois vecteurs quelconques PA, PB, PC ayant même origine et dont les extrémités A, B, C sont les sommets d'un triangle ABC de centre de gravité G. Une première décomposition peut se faire suivant les relations (1)

$$PA = PG + GA$$
$$PB = PG + GB$$
$$PC = PG + GC ;$$

les vecteurs GA, GB, GC étant reliés par l'égalité

$$GA + GB + GC = o ;$$

il en résulte que

$$PA + PB + PC = 3 \times PG,$$

égalité qui fournit la valeur du vecteur PG définissant le premier système équilibré composant formé de trois vecteurs PG égaux.

II. **Deuxième proposition.** — Pour obtenir les deux autres systèmes composants il suffit de procéder de la façon suivante : dans le plan du triangle il existe un point S, et un seul, d'où l'on peut tirer trois directions passant par les extrémités A, B, C et faisant entre elles des angles de 120° (deux segments capables d'un angle de 120° décrits, par exemple, sur les côtés AB et BC déterminent ce point); si du point G comme centre et avec la longueur GS pour rayon on décrit une circonférence, celle-ci détermine les trois points A', B', C' sur les directions SA, SB, SC. Le triangle A'B'C' étant tracé, on remarque que l'angle A'B'C' vaut 60° comme supplément de l'angle A'SC; il en est de même des angles C'A'B' et A'C'B' qui sont respectivement égaux aux angles C'SB' et A'SB' valant 60° chacun. Dès lors, le triangle A'B'C' est équilatéral et les vecteurs GA', GB', GC' sont trois vecteurs équilibrés déphasés de 120° entre eux. Quant aux vecteurs A'A, B'B, C'C qui représentent les résidus des précédentes décompositions, ils appartiennent également à un système équilibré. En effet, on a

$$A'A = A'G + GA,\ B'B = B'G + GB,\ C'C = C'G + GC$$

et, en tenant compte de ce qui précède, on peut écrire

$$A'A + B'B + C'C = o.$$

Les vecteurs A'A, B'B, C'C supposés portés bout à bout formeraient donc un triangle dont les côtés

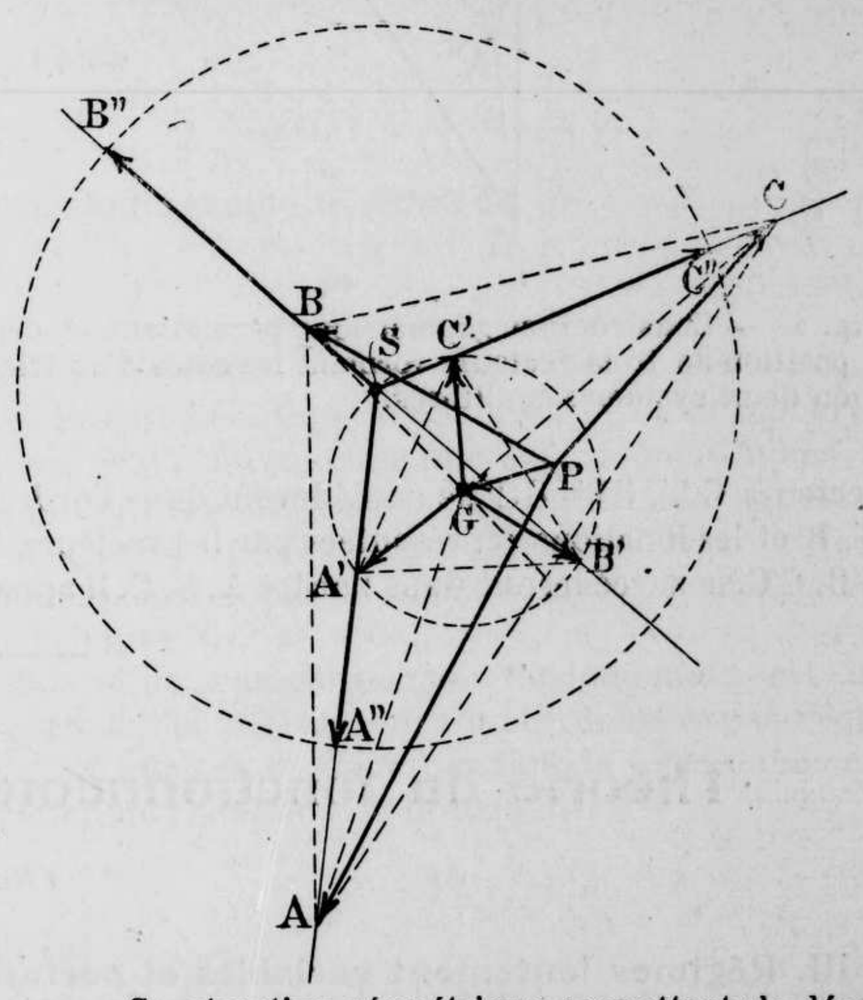


Fig. 1. — Construction géométrique permettant de décomposer un système de trois vecteurs quelconques en trois systèmes équilibrés.

seraient parallèles aux directions SA, SB, SC; ce triangle serait donc équilatéral, d'où il résulte que les vecteurs A'A, B'B, C'C forment à leur tour un système équilibré. Pour mieux mettre en évidence ce qui précède, on peut le transporter au point S comme origine : une circonférence de rayon égal à l'intensité des

(1) Il est entendu que les relations qui suivent représentent des opérations géométriques.

vecteurs à représenter permet de fixer la position des points A″, B″, C″ tels que les vecteurs SA″, SB″, SC″ soient respectivement égaux aux vecteurs A′A, B′B, C′C du troisième système équilibré.

III. **Application.** — Du point de vue électrotechnique, il est intéressant de remarquer que, si les trois vecteurs PA, PB, PC représentent trois fonctions périodiques se succédant dans le temps dans l'ordre A, B, C par exemple, les fonctions représentées par les

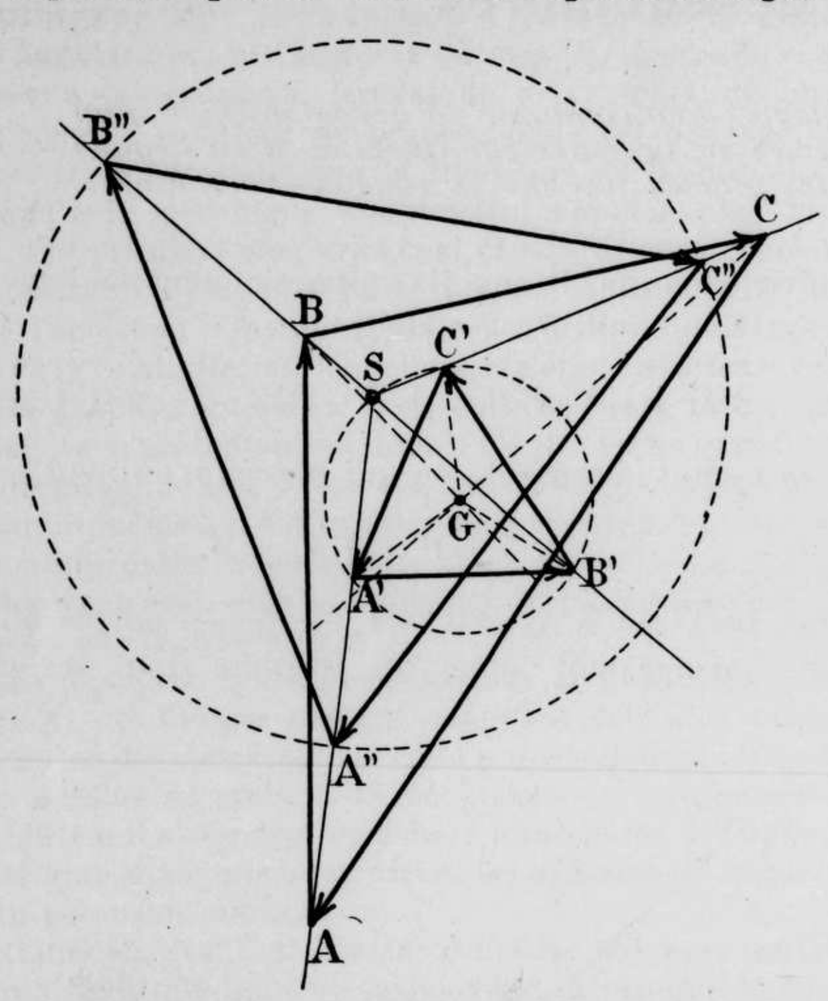


Fig. 2. — Construction géométrique permettant la décomposition de trois vecteurs formant les côtés d'un triangle en deux systèmes équilibrés.

vecteurs GA′, GB′, GC′ se succéderont dans l'ordre A′, C′, B′ et les fonctions représentées par les vecteurs A′A, B′B, C′C se succèderont dans l'ordre A, B, C. Il apparaît ainsi que les systèmes équilibrés (GA′, GB′, GC′) et (SA″, SB″, SC″) se succèdent en sens inverses dans le temps. Leur détermination en intensité et en phase se ramène à la construction élémentaire des deux points G et S à l'aide desquels on obtient les décompositions suivantes :

$$PA = PG + GA' + SA''; \quad PB = PG + GB' + SB''; \quad PC = PG + GC' + SC''.$$

IV. **Cas particulier.** — Il arrive fréquemment que le système des trois vecteurs se présente sous la forme d'un triangle fermé, tels que les vecteurs AB, BC, CA la figure 2. Dans ce cas, on peut procéder immédiatement à la décomposition, sans devoir rassembler les trois vecteurs à la même origine. En effet, si G désigne le centre de gravité du triangle ABC et si S désigne le point par lequel passent les directions SA, SB, SC décalées entre elles de 120°, le cercle décrit de G comme centre avec le rayon GS détermine les points A′, B′, C′ qui sont les sommets d'un triangle équilatéral. Les systèmes équilibrés composants sont alors aux nombres de deux seulement : l'un GA′, GB′, GC′, l'autre SA″, SB″, SC″ et la décomposition s'effectue comme il suit :

$$AB = AA' + A'B' + B'B = A''S + SB'' + A'B' = A''B'' + A'B'.$$

On aurait également

$$BC = B''C'' + B'C' \quad \text{et} \quad CA = C''A'' + C'A'.$$

Remarque. — Il est aisé de vérifier que les propriétés trouvées ci-dessus subsistent, ainsi que le procédé graphique qui en découle, lorsque les trois vecteurs ont la même direction.

Jules Yernaux,
Professeur d'électrotechnique,
administrateur de l'Ecole
des Mines, Mons.

Théorie du fonctionnement dynamique de la métadyne

(Suite et fin) (*)

III. **Régimes lentement variables et perturbations dans le fonctionnement de la métadyne.** — 1. Théorème V relatif au calcul du couple. — Dans le paragraphe précédent nous avons éliminé de notre étude la régulatrice, car il s'agissait de régimes rapidement transitoires. Ici nous considérerons encore des régimes transitoires, mais lentement variables où l'on pourra, sans grande erreur, admettre que le point de fonctionnement glisse le long d'une caractéristique du régime stationnaire ; dans ce cas l'action de la régulatrice réapparaît entièrement. L'action fondamentale consiste en résumé à annuler le couple de la métadyne. Il est donc nécessaire de le considérer.

Le couple C développé par la métadyne peut être exprimé en fonction des courants dans l'induit et des flux dans l'entrefer, par

$$C = \Gamma_c \sum_{ab} I_{ab} (\Phi_a - \Phi_{a'}), \qquad (26)$$

où Γ_c est une constante de la machine ; Φ_a, le flux qui

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 16 août 1930, t. xxviii, 227-237.

émane du segment polaire statorique immédiatement à droite de l'axe de commutation O a et $\Phi_{A'}$, celui du segment polaire statorique immédiatement à droite de l'axe de commutation Oa', le sens positif de ces flux étant le sens centripète et le sens positif du couple étant le sens dextrorsum. La formule (26) est valable pour l'enroulement en tambour pour n'importe quel pas d'enroulement; dans le cas de l'enroulement en anneau il faudra faire $\Phi_{A'} = 0$.

Le théorème V s'énonce ainsi : *Pour calculer le couple il suffit de prendre un système quelconque de courants fictifs dans l'induit.*

Soit en effet I_{ab} l'intensité du courant réel et $\bar{I}_{ab}$ la valeur du courant d'un système fictif quelconque. On a vu que $I_{ab} = \bar{I}_{ab} + I_0$ où I_0 est le même pour tous les segments. Donc

$$C = \Gamma_c \sum_{ab} (\bar{I}_{ab} + I_0)(\Phi_A - \Phi_{A'}) = \Gamma_c \sum_{ab} \bar{I}_{ab}(\Phi_A - \Phi_{A'})$$
$$+ \Gamma_c I_0 \sum_{A} (\Phi_A - \Phi_{A'}) = \Gamma_c \sum_{ab} \bar{I}_{ab}(\Phi_A - \Phi_{A'})$$

ce qui démontre le théorème.

Le flux Φ_A dépend de la somme algébrique des ampères-tours du stator et du rotor qui agissent sur les lignes de force traversant le segment statorique immédiatement à droite de l'axe de commutation O a. Si l'on admet les hypothèses simplificatrices du paragraphe premier de l'article précité, on peut dire que Φ_A est la somme algébrique du flux Φ_{AS} créé par les ampères-tours du stator et celui Φ_{AR} créé par les ampères-tours du rotor. Or, il est facile de voir que

$$\sum_{ab} I_{ab}(\Phi_{AR} - \Phi_{A'R}) = 0,$$

car cette expression est proportionnelle au couple qu'aurait la métadyne s'il n'y avait pas d'enroulement statorique, le stator étant un anneau lisse à perméabilité uniforme.

Si, de plus, on ne considère que les cas où les ampères-tours des segments polaires statoriques diamétralement opposés sont égaux et de signes contraires, on pourra écrire

$$C = \Gamma' \sum_{ab} I_{ab} g_{ab} (S_A - S_{A'}), \qquad (27)$$

et si, enfin, on considère un enroulement en tambour à pas diamétral on aura

$$C = \Gamma \sum_{ab} I_{ab} g_{ab} S_A. \qquad (28)$$

2. Condition d'une connexion correcte de la régulatrice. — Nous avons attiré l'attention, au paragraphe II de notre article précité, sur le fait qu'il est nécessaire, pour le fonctionnement correct de la régulatrice, que le courant que la régulatrice engendre quand la vitesse tend à augmenter amène une réduction du couple de la métadyne; il faudra donc que

$$\frac{\partial C}{\partial I_\rho} < 0,$$

le sens positif du courant I_ρ dans le régulateur étant celui fourni par la régulatrice quand elle marche à une vitesse légèrement supérieure à celle considérée comme normale. Considérons une métadyne montée en Y, à enroulement en tambour et à pas diamétral et adoptons les mêmes symboles qu'au paragraphe IV de notre premier article. Nous partons de la formule (28) et du système de courants fictifs d'induit suivants : $I_{ab} = I_a$; $I_{bc} = -I_c$; $I_{ca} = 0$ et nous obtenons :

$$\frac{1}{g\Gamma} C = I_a S_A + (\nu - 1) I_a S_{C'} + S_A I_c = S_A (I_a + I_c) + (\nu - 1) S_{C'} I_a$$
$$= (I_a + I_c)[S_{A1} I_a + S_{A2} I_b + S_{A3} I_c + S_{A4} V_{ab} + S_{A5} V_{bc}$$
$$+ S_{A6} V_{ca} + S_{A7} I_\rho] + (\nu - 1) I_a [S_{C'1} I_a + S_{C'2} I_b + S_{C'3} I_c$$
$$+ S_{C'4} V_{ab} + S_{C'5} V_{bc} + S_{C'6} V_{ca} + S_{C'7} I_\rho].$$

Donc on a, à une constante positive près,

$$\frac{\partial C}{\partial I_\rho} = (I_a + I_c) S_{A7} + (\nu - 1) I_a S_{C'7}. \qquad (29)$$

Si l'on a

$$S_{A7} + (\nu - 1) S_{C'7} = 0, \qquad (30)$$

la dérivée du couple se réduit à

$$\frac{\partial C}{\partial I_\rho} = I_c S_{A7},$$

et si la caractéristique fondamentale de la métadyne est une droite I_c constante (auquel cas, nous avons vu l'équation (30) être, en général, satisfaite), la dérivée du couple conserve toujours le même signe et sera rendue négative par le choix convenable du signe de la constante S_{A7}.

Mais si la caractéristique fondamentale est une hyperbole, la dérivée du couple donnée par l'équation (29) change de signe pendant le fonctionnement. En effet, de l'équation de la régulatrice

$$V_{ab} I_a - V_{bc} I_c = 0,$$

on tire

$$\frac{I_c}{I_a} = \frac{V_{ab}}{V_{bc}};$$

or V_{ab} est constant et V_{bc} est variable; donc, quand l'on aura

$$\frac{V_{ab}}{V_{bc}} = -\frac{S_{A7} + (\nu - 1) S_{C'7}}{S_{A7}}, \qquad (31)$$

la dérivée du couple s'annulera en changeant de signe. Pour assurer le fonctionnement, il faudra inverser la

connexion de la régulatrice à l'enroulement statorique régulateur quand V_{bc} vérifiera l'équation (31).

3. Treizième mode de réalisation relatif a la régulatrice a excitation séparée. — Nous avons décrit plusieurs formes de régulatrices au paragraphe II de notre article précité et nous avons jusqu'ici déterminé les caractéristiques de la métadyne d'après l'action particulière de ces formes de régulatrice.

Le treizième procédé est le suivant : la régulatrice peut être constituée par une dynamo à excitation indépendante solidaire de l'arbre de la métadyne et branchée à travers l'enroulement régulateur de la métadyne, à une génératrice à excitation indépendante aussi (1).

La figure 7 en donne le schéma : RG est la régulatrice supposée excitée séparément par le courant I_1, et con-

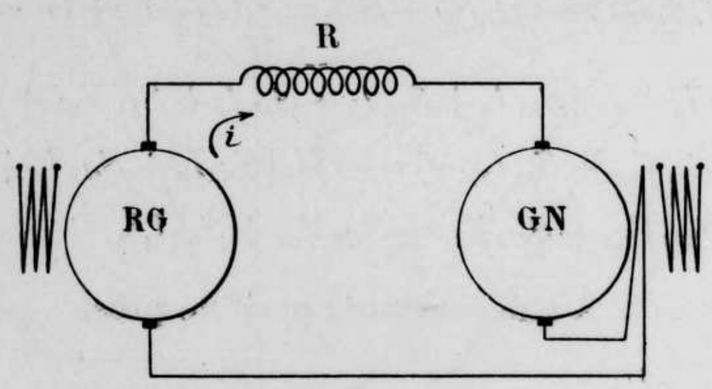


Fig. 7. — Schéma simplifié du montage de la régulatrice à excitation séparée.

nectée, à travers le régulateur R de la métadyne, à la génératrice GN qui possède une excitation indépendante parcourue par le courant I_0 et un enroulement de compoundage. Soient i le courant qui traverse le régulateur R, N la vitesse de la régulatrice supposée égale à celle de la métadyne, pour simplifier, N_0 la vitesse de la génératrice GN et r la résistance du circuit parcouru par le courant i.

Pour l'équilibre en régime stationnaire nous avons

$$NK_1I_1 - ri = N_0 (K_0I_0 - K'_0i),$$

où K_1, K_0, K'_0 sont des constantes de construction.

Nous en tirons

$$i = \frac{-N_0K_0I_0 + NK_1I_1}{r - N_0K_0}. \qquad (32)$$

Si donc on a soin de rendre $r - N_0K_0$ petit, on aura un courant i élevé pour la moindre différence ΔN entre la vitesse N de la métadyne et la valeur $N_0 \frac{K_0L_0}{K_1I_1}$,

$$\Delta N = N - N_0 \frac{K_0I_0}{K_1I_1}. \qquad (33)$$

Le courant i peut avoir deux sens suivant le signe de cette différence ΔN. Par conséquent, la vitesse de la métadyne suivra de près la valeur définie par l'expression (33) et on n'aura qu'à déterminer arbitrairement cette valeur.

(1) En général l'excitation de cette génératrice peut être quelconque.

Si la vitesse N_0 est constante, la vitesse de la métadyne N sera sensiblement constante si le rapport $\frac{I_0}{I_1}$ est constant, en particulier égal à 1, c'est-à-dire si l'excitation indépendante de la régulatrice et de la génératrice à laquelle elle est branchée sont parcourues par le même courant I; dans ce dernier cas, le courant qui traverse le régulateur de la métadyne peut s'écrire

$$i = Iy$$

où y varie considérablement pour un faible écart de la vitesse N par rapport à la vitesse $N_0 \frac{K_0}{K_1}$, tandis que I en reste en général indépendant (1).

On obtient un cas particulièrement intéressant si l'on prend le courant d'un balai quelconque de la métadyne pour courant I de l'excitation indépendante. Il est à noter que cette forme de régulatrice a l'avantage de ne pas être soumise à la tension de la ligne.

4. Quatorzième mode de réalisation relatif aux régulatrices polyphasées. — La régulatrice peut être constituée par plusieurs dynamos à excitation indépendante solidaires de l'arbre de la métadyne et branchées chacune, à travers un enroulement régulateur distinct de la métadyne, à une génératrice distincte à excitation indépendante.

Si I_a, I_b, ... I_g sont les courants aux balais de la métadyne qui parcourent l'excitation des g dynamos de la régulatrice, les courants lancés dans les enroulements régulateurs correspondants de la métadyne peuvent se mettre sous la forme I_ay, I_by, ... I_gy où y varie considérablement pour un faible écart de la vitesse de la métadyne par rapport à la vitesse pour laquelle $y = 0$ tandis que I_a, I_b, ... I_g conservent sensiblement la même valeur.

Nous appellerons régulatrice à force centrifuge et régulatrice à régulateur de tension les deux formes indiquées immédiatement après la définition du troisième procédé (2); régulatrice shunt celle du quatrième procédé (2); régulatrice série celle du cinquième procédé (2); régulatrice monophasée à excitation indépendante celle du treizième procédé; enfin régulatrice polyphasée à excitation indépendante celle du quatorzième procédé (3).

(1) On peut obtenir N_0 constant de plusieurs manières. En voici une : la génératrice dont la vitesse est N_0 est entraînée par un moteur à excitation shunt dont le fer est loin de la saturation et qui est alimenté à son tour par une génératrice à fer très saturé accouplée à la métadyne. Alors même quand la vitesse N de la métadyne varie, la vitesse N_0 reste sensiblement invariable, surtout si on a eu soin de compounder légèrement dans le sens convenable, le moteur shunt.

(2) J.-M. Pestarini. *Loc. cit.*

(3) Toute régulatrice peut lancer directement le courant dans le régulateur statorique de la métadyne, ou bien par l'intermédiaire d'une dynamo dont elle alimente l'excitation et dont le courant induit est lancé à son tour dans le régulateur; ceci pour amplifier l'action de la régulatrice.

5. Caractéristiques fondamentales pour le cas général de la régulatrice a excitation indépendante. — L'emploi des régulatrices à excitation indépendante modifie profondément les caractéristiques du fonctionnement stationnaire de la métadyne. Nous ferons le calcul pour le cas de la régulatrice polyphasée puisque la régulatrice monophasée en est un cas particulier. Nous reprenons encore le montage en Y de la métadyne en rappelant que le calcul pour tout autre montage est essentiellement le même et aboutit à des résultats analogues.

Ecrivons ici à nouveau les équations fondamentales (35) et (36) du paragraphe IV de l'article précité,

$$\left.\begin{aligned} V_{ab} &= Kg^2(\nu-1)\,NI_c + \Lambda Ng\,(S_\Lambda + (\nu-1)\,S_{c'}) \\ V_{bc} &= NKg^2\,(\nu-1)\,I_a - \Lambda Ng\,S'_\Lambda \\ V_{ab}I_a &- V_{bc}I_c = 0. \end{aligned}\right\} \quad (34)$$

Remarquons que l'expression (29) du paragraphe IV de l'article précité, qui explicite la constitution des enroulements statoriques autour du segment polaire statorique, peut être simplifiée *sans aucune restriction* en la généralité du cas considéré. En effet, I_b est une combinaison linéaire de I_a et I_c, donc $S_{\Lambda 2}\,I_b$ est une combinaison linéaire de $S_{\Lambda 1}\,I_a$ et $S_{\Lambda 3}\,I_c$ et, par conséquent, $S_{\Lambda 2}$ ne peut pas être considéré comme un paramètre indépendant de $S_{\Lambda 1}$ et $S_{\Lambda 3}$; nous n'écrirons donc plus le terme $S_{\Lambda 2}\,I_b$. De même, nous n'écrirons plus le terme $S_{\Lambda 6}\,V_{ca}$. Avec le montage en Y nous pouvons avoir une régulatrice triphasée, une phase par balai, mais pour la même raison nous ne considérerons que deux phases, celle qui correspond au courant I_a et celle qui correspond au courant I_c, la troisième phase donnant des ampères-tours qui ne sont qu'une combinaison linéaire de ceux des deux autres phases. Donc nous pouvons écrire pour le cas général

$$\left.\begin{aligned} S_\Lambda &= S_{\Lambda 1}I_a + S_{\Lambda 2}I_c + S_{\Lambda 3}V_{ab} + S_{\Lambda 4}V_{bc} \\ &\quad + S_{\Lambda 5}I_a y + S_{\Lambda 6}I_c y, \\ S_{c'} &= S_{c'1}I_a + S_{c'2}I_c + S_{c'3}V_{ab} + S_{c'4}V_{bc} \\ &\quad + S_{c'5}I_a y + S_{c'6}I_c y. \end{aligned}\right\} \quad (35)$$

Substituons en (34), éliminons y et I_a et nous aurons la caractéristique fondamentale (1)

$$I_c\,[V_{bc}^2 I_c\,\alpha + V_{bc}^2\,\beta\,V_{ab} + V_{bc}I_c\gamma\,V_{ab} + I_c\delta\,V_{ab}^2 + V_{bc}\varepsilon\,V_{ab}^2 + \zeta\,V_{ab}^3] = 0, \quad (36)$$

qui se décompose en une équation représentant une droite

$$I_c = 0, \quad (37)$$

et une équation de troisième degré

$$V_{bc}^2 I_c\alpha + V_{ba}^2\beta\,V_{ab} + V_{bc}I_c\gamma\,V_{ab} + I_c\delta\,V_{ab}^2 + V_{bc}\varepsilon\,V_{ab}^2 + \zeta\,V_{ab}^3 = 0, \quad (38)$$

(1) La vitesse N est supposée constante.

où

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= N\Lambda g\,(S_{\alpha 1}S_{\Lambda 5} - S_\Lambda S_{\alpha 5}), \\ \beta &= N\Lambda g\,(S_{\alpha 4}S_{\Lambda 5} - S_{\Lambda 4}S_{\alpha 5}) - S_{\alpha 5}, \\ \gamma &= NKg^2\,(\nu-1)\,(S_{\Lambda 5} + S_{\alpha 5}) + N\Lambda g\,(S_{\alpha 1}S_{\Lambda 6} \\ &\quad - S_{\alpha 6}S_{\Lambda 1} + S_{\alpha 2}S_{\Lambda 5} - S_{\Lambda 2}S_{\alpha 5}), \\ \delta &= NKg^2(\nu-1)(S_{\Lambda 6}+S_{\alpha 6}) + NVg(S_{\alpha 2}S_{\Lambda 5} - S_{\Lambda 2}S_{\alpha 6}), \\ \varepsilon &= N\Lambda g\,(S_{\alpha 3}S_\Lambda - S_{\Lambda 3}S_{\alpha 5} + S_{\alpha 4}S_{\Lambda 6} \\ &\quad - S_{\Lambda 4}S_{\alpha 6}) - S_{\Lambda 5} - S_{\alpha 6}, \\ \zeta &= N\Lambda g\,(S_{\alpha 3}S_6 - S_{\Lambda 5}S_{\Lambda 6}) - S_{\Lambda 6}, \end{aligned}\right\} \quad (39)$$

et

$$\left.\begin{aligned} S_{\alpha 1} &= S_{\Lambda 2} + (\nu-1)\,S_{c'1}, \\ S_{\alpha 2} &= S_{\Lambda 2} + (\nu-1)\,S_{c'2}, \\ &\cdots\cdots\cdots \\ S_{\alpha 6} &= S_{\Lambda 6} + (\nu-1)\,S_{c'6}. \end{aligned}\right\} \quad (40)$$

La courbe du troisième degré définie par l'équation (38) a pour asymptotes les droites

$$\left.\begin{aligned} I_c &= -\,V_{ab}\,\frac{\beta}{\alpha}, \\ V_{bc} &= \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 4\alpha\delta}}{2\alpha}\,V_{ab}, \\ V_{bc} &= \frac{-\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 4\delta}}{2\alpha}\,V_{ab}, \end{aligned}\right\} \quad (41)$$

et la figure 8 en donne une forme particulière.

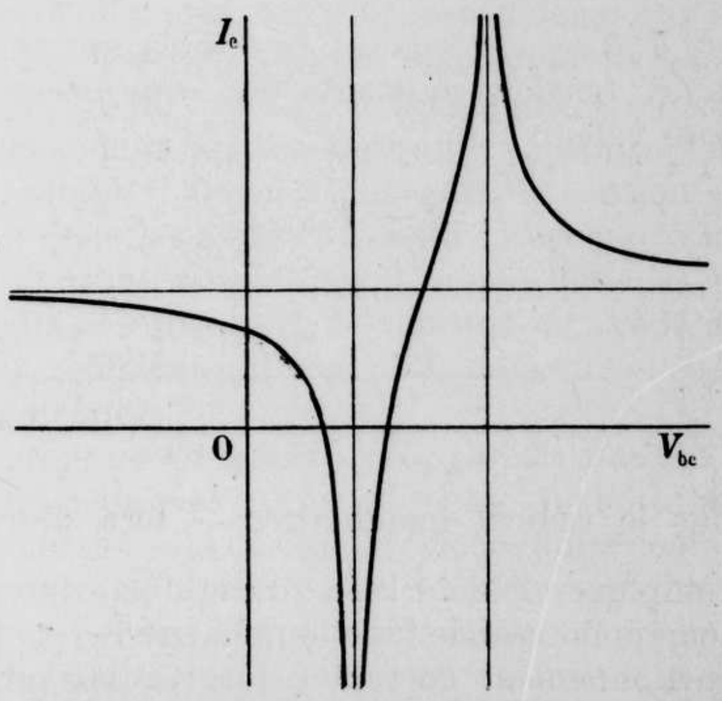


Fig. 8. — Allure générale de la caractéristique fondamentale de la métadyne transformatrice quand la régulatrice est à excitation séparée.

Si $\alpha = 0$, on a une hyperbole dont les asymptotes sont

$$\left.\begin{aligned} V_{bc} &= -\,V_{ab}\,\frac{\delta}{\gamma}; \\ I_c\gamma &+ V_{bc}\beta + V_{ab}\varepsilon = 0. \end{aligned}\right\} \quad (42)$$

La figure 9 en donne une forme particulière.

Si $\alpha = 0$ et $\beta = 0$, on retrouve l'hyperbole dont les deux asymptotes sont parallèles aux axes

$$\left.\begin{aligned} V_{bc} &= - V_{ab} \frac{\delta}{\gamma}, \\ I_c &= - V_{ab} \frac{\varepsilon}{\gamma}. \end{aligned}\right\} \qquad (43)$$

Si $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0$, on a la droite inclinée

$$I_c \delta + V_{bc} \varepsilon + \zeta V_{ab} = 0. \qquad (44)$$

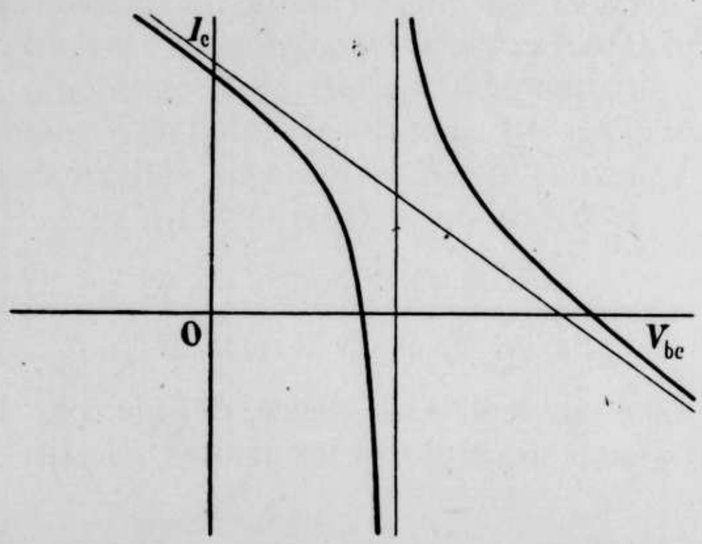


Fig. 9. — Allure particulière de la caractéristique fondamentale de la métadyne transformatrice quand la régulatrice est à excitation séparée.

Si $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, on a une transformatrice de tension constante en une autre tension constante ayant pour valeur

$$V_{bc} = - V_{ab} \frac{\zeta}{\varepsilon}. \qquad (45)$$

Si $\alpha = 0$; $\beta = 0$; $\gamma = 0$; $\varepsilon = 0$, on a une transformatrice de tension constante en courant constant ayant pour valeur

$$I_c = - V_{ab} \frac{\zeta}{\delta}. \qquad (46)$$

Enfin la courbe du troisième degré et les hyperboles définies plus haut peuvent dégénérer en des droites confondues avec leurs asymptotes.

6. Action de la régulatrice polyphasée et monophasée. — Reprenons l'examen de la variation du couple quand la vitesse de la métadyne s'écarte de la valeur normale et que l'on a adopté la régulatrice polyphasée. Nous avons alors

$$\frac{\partial C}{\partial y} = (I_a + I_c)(S_{A5} I_a + S_{A6} I_c) + I_a (S_{C'5} I_a + S_{C'6} I_c)(\nu - 1). \qquad (47)$$

Pour le fonctionnement correct de la régulatrice il faut que cette dérivée reste négative dans toute la zone du fonctionnement qu'on se propose de réaliser. Nous pouvons écrire l'équation (47) comme il suit

$$\frac{\partial C}{\partial y} = I_a^2 (S_{A5} + (\nu - 1) S_{C'5}) + I_c^2 S_{A6} + I_a I_c (S_{A5} + S_{A6} + (\nu - 1) S_{C'6}). \qquad (48)$$

Si donc l'on fait

$$S_{A5} + S_{A6} + (\nu - 1) S_{C'6} = 0,$$

et si

$$S_{A6} < 0 \quad \text{et} \quad S_{A5} + (\nu - 1) S_{C'6} < 0,$$

la dérivée du couple restera négative pour n'importe quel point réel de fonctionnement.

On peut encore raisonner ainsi : le deuxième membre de l'équation (48) est une fonction continue du rapport $\frac{I_a}{I_c}$; pour qu'elle change de signe, il faut nécessairement qu'elle s'annule. Or les valeurs de $\frac{I_a}{I_c}$ qui annulent cette fonction sont

$$\frac{I_a}{I_c} = \frac{- (S_{A5} + S_{A6} + (\nu-1) S_{C'6}) \pm \sqrt{(S_{A5} + S_{A6} + (\nu-1) S_{C'6})^2 - 4 S_{A6} (S_{A5} + S_{C'5}^{(\nu-1)})}}{2 (S_{A7} + S_{C'5}^{(\nu-1)})}; \qquad (49)$$

supposons le radical imaginaire, $\frac{I_a}{I_c}$ sera alors une valeur complexe et la dérivée du couple ne s'annulera pour aucun point réel de fonctionnement.

Le fonctionnement correct de la régulatrice étant assuré sur toute l'étendue de la caractéristique fondamentale, il s'agit de savoir ce qui se passe quand une branche de la courbe du troisième degré, ou de l'hyperbole ou de la droite inclinée, vient couper l'axe des abscisses qui, comme nous l'avons vu, fait partie de la caractéristique fondamentale.

En effet, si sur le plan des coordonnées V_{bc}, I_c nous suivons le point de fonctionnement P (V_{bc}, I_c) nous le verrons se déplacer d'autant plus près d'une branche de la caractéristique fondamentale que le régime varie plus lentement dans le temps. Quand le point P (V_{bc}, I_c) arrive près de l'intersection de la branche en question de la caractéristique fondamentale et de l'axe des abscisses, on peut se demander s'il continuera à suivre cette branche ou bien l'axe. Cette question peut être étudiée à l'aide des équations différentielles ; nous nous bornons ici à soulever le problème et à noter que, quand l'intersection a lieu sans une tangente commune, le point P continue à suivre, en général, la branche qu'il suivait avant.

Posons

$$\frac{S_{C'5}}{S_{A5}} = \frac{S_{C'6}}{S_{A6}} = \mu ; \qquad (50)$$

nous pouvons alors écrire

$$S_{c'5} I_a y + S_{c'6} I_c y = \mu (S_{A5} I_a y + S_{A6} I_c y) = \mu S_{A7} I_\varphi = S_{c'7} I_\varphi,$$

c'est-à-dire que nous pouvons remplacer les deux enroulements régulateurs par un seul, parcouru par l'unique courant I_φ et nous retrouvons alors le système d'équations du paragraphe IV de notre précédent article, la caractéristique fondamentale étant, en général, une hyperbole à asymptotes parallèles aux axes, la droite $I_c = 0$ ne faisant plus partie, bien entendu, de la caractéristique fondamentale. De plus, la régulatrice à excitation séparée peut être monophasée; il suffira pour cela de l'exciter avec deux enroulements, l'un parcouru par I_a et l'autre par I_c, les ampères-tours étant dans un rapport égal à μ.

La dérivée partielle du couple est alors

$$\frac{\partial C}{\partial y} = (S_{A5} I_a + S_{A6} I_c)\,(I_a + I_c + \mu\,(\nu - 1)\,I_a);$$

si donc l'on pose

$$\mu\,(\nu - 1) + 1 = \frac{S_{A5}}{S_{A6}}, \qquad (51)$$

on aura

$$\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{S_{A6}}\,(S_{A5} I_a + S_{A6} I_c)^2; \qquad (52)$$

cette dérivée sera donc toujours négative si S_{A6} est négatif: le fonctionnement correct de la régulatrice est assuré pour tout point réel de fonctionnement stationnaire.

7. Evaluation du nombre des paramètres arbitraires permettant d'agir sur les caractéristiques. — Comme y n'est défini qu'à une constante près, au lieu de quatre paramètres S_{A5}, S_{A6}, S_{C5}, S_{C6} on en a seulement trois, ce qui avec les huit autres S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}, $S_{C'1}$, $S_{C'2}$, $S_{C'3}$, $S_{C'4}$, nous conduit à onze paramètres indépendants. D'autre part, pour placer sur le plan des coordonnées V_{bc}, I_c, la caractéristique fondamentale, il faut remplir quatre conditions linéaires par rapport aux paramètres, quelle que soit sa forme (courbe de troisième degré et une droite, hyperbole et une droite, deux droites, trois droites, quatre droites).

Pour assurer le fonctionnement correct de la régulatrice polyphasée il suffit, en général, de satisfaire à une condition; si l'on veut avoir un seul enroulement régulateur et, éventuellement, une régulatrice monophasée, il faut satisfaire à une condition encore. Cela fait en tout respectivement cinq ou six conditions. Il nous reste donc respectivement six ou cinq paramètres avec lesquels on peut, en général, assurer la stabilité du fonctionnement tout en laissant quelques-uns d'entre eux arbitraires et que, le plus souvent, on annule.

Nous avons toujours supposé que la vitesse N de la métadyne transformatrice est sensiblement constante, ce qui résulte de considérations relatives à une meilleure utilisation du matériel et à la simplicité du fonctionnement. Mais la vitesse N peut être fonction soit des courants aux balais, soit de la puissance fournie aux appareils conduits, ou toute autre fonction. Pour réaliser cette liaison on agira soit sur l'excitation de la régulatrice, soit sur la composition du circuit de l'enroulement régulateur de la métadyne, soit sur les caractéristiques de la génératrice éventuelle à laquelle est branchée la régulatrice. Il en résultera alors une caractéristique fondamentale de la métadyne plus compliquée, en général, mais le procédé de calcul reste le même.

8. La métadyne en cas de perturbations. — Il est important de savoir comment se comporte la métadyne transformatrice en cas de perturbations pouvant survenir aux appareils conduits par la métadyne ou sur le réseau qui l'alimente. On peut distinguer, pendant tout accident, un régime transitoire et un régime limite. Supposons que la métadyne soit pourvue d'enroulements stabilisateurs qui rendent négatifs tous les exposants de la solution des équations différentielles homogènes comme nous avons vu au paragraphe I. Le régime limite est simplement le régime stationnaire qui correspond aux conditions exprimant l'accident, et il est pratiquement atteint après un temps d'autant plus court que les exposants mentionnés plus haut sont plus élevés en valeur absolue. Nous aurons alors résolu, en grande partie, le problème des accidents en examinant le régime limite qui leur correspond.

1° *Court-circuit sur les appareils conduits.* — Si la métadyne n'est pas une transformatrice de tension constante en une autre tension constante, la caractéristique fondamentale sera une courbe (ou une surface ou une variété à plus de deux dimensions) qui coupe les axes des courants fournis aux appareils conduits (le courant I_c pour le cas du montage en Y pour les valeurs correspondant aux tensions nulles aux forces des appareils conduits. Donc, d'une part, le courant de court-circuit dans les appareils conduits est simplement égal à un courant normalement admis dans les appareils conduits, d'autre part, le courant demandé au réseau est sensiblement nul comme le démontre l'équation de la régulatrice.

2° *Rupture du circuit des appareils conduits.* — Il y a lieu de distinguer un premier cas: quelques-uns seulement des circuits des appareils conduits sont coupés et il en subsiste d'autres. La métadyne passe alors du montage normal à un montage différent qui, en général, a un fonctionnement analogue, de sorte que les appareils conduits qui sont restés normalement connectés subissent simplement une légère modification de leur régime normal, et sur le réseau, d'autre part, il ne se produit aucun phénomène anormal.

Dans le second cas, tous les circuits des appareils conduits sont coupés. Supposons que la caractéristique fondamentale comporte des points pour lesquels les courants fournis aux appareils conduits sont nuls; ils représentent alors le régime limite qui correspond à

cet accident. En ce qui concerne le réseau, il fournira alors une puissance sensiblement nulle. Prenons, par exemple, le montage en croix tel qu'il est indiqué en figure 10 et supposons que le circuit de l'unique appareil conduit Q soit coupé, la caractéristique fondamentale étant une hyperbole, comme il est indiqué en

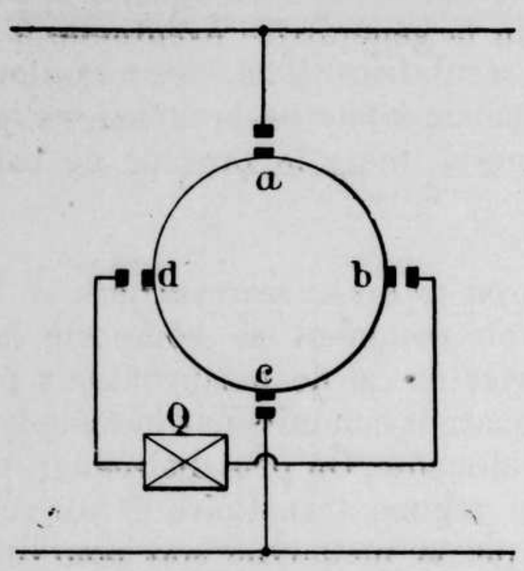


Fig. 10. — Montage symétrique de la métadyne en croix.

figure 42 de notre article précité; le point b d'intersection de cette hyperbole avec l'axe des tensions V_{bc} représente alors le régime limite correspondant à cet accident. Le courant demandé au réseau est sensiblement nul et la différence de potentiel entre les bornes B et D de la métadyne qui correspondent à l'appareil conduit Q, est limitée à la valeur Ob (1).

3° *Le réseau cesse brusquement de fournir la tension.* Ce cas a lieu si, par exemple, les disjoncteurs qui accrochent la métadyne au réseau déclenchent. Si les appareils conduits ne peuvent fonctionner que comme moteurs, c'est-à-dire en absorbant de l'énergie électrique, le régime limite est celui correspondant évidemment à tous les courants nuls aux balais de la métadyne. Il n'en n'est pas nécessairement ainsi quand les appareils conduits peuvent fonctionner comme générateurs d'énergie électrique; dans ce cas ils la fournissent à la métadyne et la question se pose de savoir s'il est possible d'éviter cette conséquence et de déterminer éventuellement les conditions à remplir pour qu'elle soit évitée. Ici nous ne pouvons pas faire abstraction à priori du genre de montage de la métadyne et de la nature des appareils conduits; aussi nous supposerons le montage en Y (voir la figure 36 de notre précédent article), le procédé de calcul étant analogue pour tout autre montage, et nous considérerons un appareil conduit dont la tension V_{bc} satisfait à l'équation

$$V_{bc} = \Omega\,(K_1 I_a + K_2 I_c + K_3 V_{ab} + K_4 V_{bc} + K_5 I_a y + K_6 I_c y). \qquad (53)$$

où Ω est un paramètre généralement variable (par exemple la vitesse de la dynamo fonctionnant comme appareil conduit) et K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, des constantes. Cette formule s'applique au moteur série

$$(K_1 = K_3 = K_4 = K_5 = K_6 = 0),$$

(1) Ceci, bien entendu, suppose que le fonctionnement de la régulatrice est correct au voisinage du point b.

au moteur à excitation constante

$$(K_1 = K_2 = K_4 = K_5 = K_6 = 0),$$

au moteur à excitation shunt

$$(K_1 = K_2 = K_3 = K_5 = K_6 = 0),$$

et à d'autres nombreux moteurs dont le fonctionnement est fonction du courant I_a du réseau, du courant I_c qui alimente son induit, de la tension constante V_{ab}, de la tension variable V_{bc}, et des courants $I_a y$ et $I_c y$ de la régulatrice de la métadyne (1).

A l'accident qui nous occupe correspond une tension V_{ab} inconnue et à déterminer et un courant $I_a = 0$.

Partons des équations (34) et (35) qui se réduisent à

$$\left.\begin{aligned} V_{ab} &= NKg^2(\nu-1)I_c + N\Lambda g(S_{\alpha 2}I_c + S_{\alpha 3}V_{ab} \\ &\qquad + S_{\alpha 4}V_{bc} + S_{\alpha 6}I_c y), \\ V_{bc} &= -N\Lambda g(S_{\Lambda 2}I_c + S_{\alpha 3}V_{ab} + S_{\Lambda 4}V_{bc} + S_{\Lambda 6}I_c y), \\ V_{bc}I_c &= 0. \end{aligned}\right\} \qquad (54)$$

Posons $I_c y = I_0$ que nous considérerons comme une nouvelle variable, et remarquons que de l'équation $V_{bc} I_c = 0$ découle nécessairement l'une ou l'autre des deux conditions

$$V_{bc} = 0 \quad \text{ou} \quad I_c = 0. \qquad (55)$$

L'équation (53), les deux premières équations (54) et une des deux équations (55) forment deux systèmes linéaires homogènes par rapport aux variables I_c, I_0, V_{ab}, V_{bc}. La condition suffisante pour que tous ces courants et ces tensions soient nuls est que les deux déterminants formés avec leurs coefficients soient simultanément différents de zéro. Le premier de ces déterminants est

$$\begin{vmatrix} \Omega K_2 & \Omega K_3 & \Omega K_4 - 1 & \Omega K_6 \\ NKg^2(\nu-1) + N\Lambda g S_{\alpha 2} & N\Lambda g S_{\alpha 3} - 1 & N\Lambda g S_{\alpha 4} & N\Lambda g S_{\alpha 6} \\ N\Lambda g S_{\Lambda 2} & N\Lambda g S_{3} & N\Lambda g S_{\Lambda 4} - 1 & N\Lambda g S_{\alpha 6} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0,$$

et le deuxième déterminant se déduit du premier en substituant à la dernière ligne la suivante

$$0 \qquad 0 \qquad 1 \qquad 0$$

Il suffira donc de rendre ces deux déterminants différents de zéro pour toute valeur de Ω comprise dans la zone parcourue en pratique, pour que l'accident qui nous occupe se réduise à annuler tous les courants et toutes les tensions, nous dirons simplement pour que la métadyne se désamorce.

4° *Mise brusque sous tension.* — En pratique la métadyne doit avoir une seule caractéristique fondamen-

(1) Rappelons ici que la condition définie par l'équation (53) peut être obtenue avec un enroulement inducteur unique sur l'appareil conduit grâce au sixième procédé défini dans notre premier article.

tale, mais, en général, plusieurs d'une même famille et l'on passe d'une caractéristique fondamentale à l'autre en modifiant les valeurs de quelques paramètres, soit en construisant des bobines à plusieurs prises intermédiaires, soit en shuntant plus ou moins une bobine, soit en insérant une résistance variable dans le circuit de la bobine, etc. Les enroulements auxquels correspondent ces paramètres dont la valeur peut être modifiée seront appelés « enroulements variateurs » pour la commodité. Parmi les courbes d'une même famille de caractéristiques fondamentales il y en a, en général, une qui passe par l'origine des coordonnées auxquelles elle se rapporte, c'est-à-dire qui fournit un courant nul sous une tension nulle aux appareils conduits. Au début du fonctionnement on peut toujours commencer par cette caractéristique fondamentale passant par l'origine et ensuite passer graduellement aux autres caractéristiques fondamentales de la famille par les modifications successives des enroulements variateurs.

Ainsi la mise en route des appareils conduits est très douce et a lieu, en général, avec une grande continuité, car les enroulements variateurs ont le plus souvent une forte inductance et la variation du courant qui les traverse ne peut être brusque quelle que soit la maladresse de l'opérateur. Cette propriété de la métadyne élimine les surintensités de courant, surtensions et la fatigue mécanique des machines (elle est particulièrement précieuse en traction). Mais il peut arriver qu'après la brusque diminution de la tension du réseau jusqu'à zéro, cette dernière ne s'élève aussi brusquement sans que l'opérateur ait ramené les enroulements variateurs à l'état correspondant au début du fonctionnement, et nous avons alors l'accident dont il est question ici. Le régime limite est, dans ce cas un régime normal et par conséquent, la stabilisation étant assurée, le problème de cette perturbation est résolu d'avance.

Il n'y a pas lieu de distinguer ici si les appareils conduits fonctionnent comme moteurs ou bien comme générateurs en récupérant de l'énergie électrique et tout ce que nous avons dit plus haut s'applique indifféremment à l'un et l'autre.

5° *Court-circuit sur le réseau.* — Si, dans ce cas, les appareils conduits fonctionnent en générateurs et récupèrent de l'énergie électrique, ils peuvent la restituer au réseau et accentuer les effets du court-circuit. Nous allons examiner si la métadyne peut suspendre la restitution de cette énergie et déterminer les conditions éventuelles suffisantes pour le cas particulier du montage en Y de la métadyne et des appareils conduits caractérisés par l'équation (53).

On a ici $V_{ab} = o$ et l'équation de la régulatrice se réduit à $V_{bc} I_c = o$ qui se dédouble en deux équations linéaires (55) dont une au moins est vérifiée nécessairement. Supposons d'abord que $I_c = o$; les équations (34) se réduisent alors à

$$\left.\begin{aligned} o &= S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 4} V_{bc} + S_{\alpha 5} I_a y, \\ V_{bc} &= NKg^2(\nu - 1) I_a - \Lambda Ng (S_{\lambda 1} I_a - S_{\lambda 4} V_{bc} + S_{\lambda 5} I_a y) \end{aligned}\right\} \quad (56)$$

Des équations (53) et (56) on déduit quelques-unes des conditions suffisantes pour que I_a V_{bc} et $I_\varphi \equiv I_a y$ soient tous nuls, à savoir

$$\begin{vmatrix} S_{\alpha 1} & S_{\alpha 4} & S_{\alpha 5} \\ NKg^2(\nu - 1) - N\Lambda g S_{\lambda 1} & 1 - N\Lambda g S_{\lambda 1} & N\Lambda g S_{\lambda 5} \\ \Omega K_1 & \Omega K_4 - 1 & \Omega K_5 \end{vmatrix} \neq o. \quad (57)$$

Supposons maintenant $V_{bc} = o$ et cherchons les autres conditions suffisantes. Admettons que la régulatrice n'est pas polyphasée ; nous pouvons alors adopter la variable I_φ (qui dans le cas d'une régulatrice monophasée à excitation indépendante sera une combinaison linéaire de $I_a y$ et de $I_c y$) et les équations (34) se réduisent à

$$o = NKg^2(\nu - 1) I_c + \Lambda Ng (S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 2} I_c + S_{\alpha 5} I_\varphi)$$
$$o = NKg^2(\nu - 1) I_a - \Lambda Ng (S_{\lambda 1} I_a + S_{\lambda 2} I_c + S_{\lambda 5} I_\varphi)$$

d'où, en tenant compte des équations (53), les autres conditions suffisantes cherchées

$$\begin{vmatrix} N\Lambda g S_{\alpha 1} & NKg^2(\nu - 1) + N\Lambda g S_{\alpha 2} & N\Lambda g S_{\alpha 5} \\ NKg^2(\nu - 1) - N\Lambda g S_{\lambda 1} & - N\Lambda g S_{\lambda 2} & - N\Lambda g S_{\lambda 5} \\ oK_1 & \Omega K_2 & \Omega K_5 \end{vmatrix} \neq o. \quad (58)$$

Les relations (57) et (58) simultanément satisfaites constituent l'ensemble des conditions suffisantes pour le cas où la régulatrice n'est pas polyphasée.

Avec $V_{bc} = o$ et une régulatrice polyphasée les équations (34) deviennent

$$o = NKg^2(\nu - 1) I_c + \Lambda Ng (S_{\alpha 1} I_a + S_{\alpha 2} I_c + S_{\alpha 5} I_a y + S_{\alpha 6} I_c y),$$
$$o = NKg^2(\nu - 1) I_a - \Lambda Ng (S_{\lambda 1} I_a + S_{\lambda 2} I_c + S_{\lambda 5} I_a y + S_{\lambda 6} I_c y).$$

Si on élimine y entre ces deux équations, et si l'on a simultanément

$$\left.\begin{aligned} &N\Lambda g (S_{\alpha 1} S'_\lambda - S_\lambda S_{\alpha 5}) + NKg^2(\nu - 1) S_{\alpha 5} = o \\ &N\Lambda g (S_{\alpha 2} S_{\lambda 6} - S_{\lambda 2} S_{\alpha 6}) + N\Lambda g^2(\nu - 1) S_{\lambda 6} \neq o \\ &N\Lambda g (S_{\alpha 1} S_{\lambda 6} - S'_{\lambda 1} S_{\alpha 6} + S_{\alpha 2} S_{\lambda 5} - S_{\lambda 2} S'_{\alpha 6}) \\ &\qquad + NKg^2(\nu - 1)(S_{\alpha 5} + S'_{\lambda 6}) = o, \end{aligned}\right\} \quad (59)$$

on aura nécessairement $I_c = o$ et l'on retrouve la condition (57). Donc les relations (57) et (59) constituent l'ensemble des conditions suffisantes pour que la métadyne pourvue d'une régulatrice polyphasée se « désamorce » quand il y a un court-circuit sur le réseau.

6° *Conclusion.* — Les conditions suffisantes du désamorçage de la métadyne pour un accident déterminé ne sont pas nécessairement les conditions suffisantes les plus réduites qui doivent être satisfaites ; ces conditions suffisantes sont les plus réduites possibles seulement quand elles coïncident avec les conditions nécessaires au désamorçage de la métadyne. Les exemples examinés plus haut permettent toutefois de dire qu'il est, en général, possible de prévoir les enroulements de

la métadyne de façon qu'elle se désamorce automatiquement pour un grand nombre d'accidents sans l'intervention d'aucun appareillage auxiliaire. Ainsi établie la métadyne constitue un véritable écran contre les accidents, écran intermédiaire entre le réseau et les appareils conduits.

9. Les courants commutés par les balais pendant le régime transitoire. — Soient $y_{a1}, y_{b1}, .. y_{n1}$ les valeurs des courants d'un régime stationnaire et $y_{a2}, y_{b2}, .. y_{n2}$ les valeurs des courants dans les mêmes circuits pour un autre régime stationnaire. Soient $y_a, y_b, .. y_n$, les courants, fonctions du temps, dans les mêmes circuits pendant le régime transitoire qui conduit du premier au deuxième régime stationnaire. Il se peut que l'on ait pour toute valeur du temps

$$|y_h| \leq |y_{hi}|$$

où l'indice i est égal à 1 ou à 2 suivant que le module de y_{h1} ou y_{h2} est le plus grand ; nous dirons alors que le courant y_h est « canalisé » ; on peut aussi avoir pour un certain temps

$$|y_h| > |y_{hi}|,$$

et nous dirons alors que le courant y_h est « débordant ».

Si le phénomène transitoire est très rapide et si le circuit parcouru par le courant y_h n'a pas de collecteur, le débordement de ce courant y_h ne cause qu'un effet Joule plus important, mais souvent négligeable à cause de la rapidité. Mais si le circuit parcouru par le courant y_h comprend un collecteur et des balais, les conséquences du débordement, même de courte durée, peuvent être une commutation inadmissible et l'amorçage de l'arc. Pour le bon fonctionnement d'une machine à collecteur il faut que les courants aux balais ne dépassent pas, même pour un temps très bref, la valeur maximum compatible avec une commutation admissible. Nous avons vu plus haut que l'on peut, en général, s'arranger pour que la métadyne transformatrice se comporte comme un écran entre le réseau et les appareils conduits en cas de perturbation et ceci, en s'assurant, d'une part, que le régime limite stationnaire qui correspond à l'accident est un régime particulier d'un fonctionnement régulier de la métadyne et, d'autre part, que la solution des équations différentielles homogènes n'a que des exposants à partie réelle négative. Mais pour que le fonctionnement de la métadyne elle-même pendant le régime transitoire de son action d'écran de l'accident soit satisfaisant, il faut que les courants aux balais ne débordent pas au delà de la limite correspondant à une commutation admissible, et alors le fait d'avoir tous les courants aux balais « canalisés » est une condition nécessaire.

Quand on a affaire à une seule équation différentielle la condition de l'exposant négatif dans la solution est en même temps celle de l'existence d'un courant canalisé aux balais ; la dynamo série fonctionnant en moteur en est un exemple typique. Mais aussitôt que l'on a plusieurs équations différentielles simultanées, il se peut que l'on ait toutes les parties réelles des exposants de la solution négative et que les courants aux balais soient pourtant débordants. Si les exposants de la solution sont tous réels, ceci ne peut avoir lieu que quand les constantes d'intégration sont les unes positives, les autres négatives. La dynamo shunt en vitesse, soumise brusquement à la tension de la ligne, en est un exemple typique. Si les exposants de la solution sont complexes, le débordement des courants aux balais peut avoir lieu, même quand toutes les constantes d'intégration sont du même signe. La discrimination des courants aux balais pendant un régime transitoire en courants débordants ou canalisés nécessite la détermination des constantes d'intégration et l'examen des accidents énumérés plus haut de ce point de vue devient laborieux. Les équations du régime stationnaire d'une métadyne peuvent toutefois nous donner une idée du résultat de cet examen. Considérons, par exemple, la métadyne en croix avec la forme particulière de la figure 10 et écrivons les équations du régime stationnaire

$$V_{ab} = 2NKg^2I_b + N\Lambda g\,(S_A + S_B),$$
$$V_{bd} = 2NKg^2I_a + N\Lambda g\,(S_B - S_A),$$
$$V_{ac}I_a + V_{bd}I_b = 0,$$

admettons que toute la résistance r_a que rencontre le courant I_a soit pratiquement en dehors du rotor, toute la résistance r_b parcourue par le courant I_b également en dehors du rotor, soit V et V' la tension des lignes connectées respectivement aux balais a et c et aux balais b et d. L'on aura encore

$$V = V_{ac} + r_aI_a,$$
$$V' = V_{bd} + r_bI_b.$$

En combinant ces deux dernières avec les deux premières des trois équations précédentes, dans lesquelles, pour simplifier, on posera $S_A = S_B = 0$, on obtient

$$I_a = \frac{V - 2NKg^2I_b}{r_a},$$

$$I_b = \frac{V' - 2NKg^2I_a}{r_b}.$$

Supposons la perturbation suivante : on part du repos pour lequel $I_a = I_b = 0$ et l'on applique brusquement les tensions V et V' ; il est évident, d'après les deux dernières équations que le courant I_b a une action canalisatrice pour le courant I_a et inversement, le courant I_a a une action canalisatrice pour le courant I_b, c'est-à-dire chaque paire de balais diamétralement opposés a une action canalisatrice pour le courant de l'autre paire et la métadyne se comporte dans cette perturbation comme la dynamo série montée en

moteur et étant en mouvement, donc la métadyne supportera sans difficulté cette perturbation.

De même dans le montage en Y, chaque balai a une action canalisatrice pour les courants des deux autres balais. On retrouve cette qualité encore dans le montage en huit.

Considérons le montage en araignée : sous la forme particulière de la figure 11 et avec les tensions qui

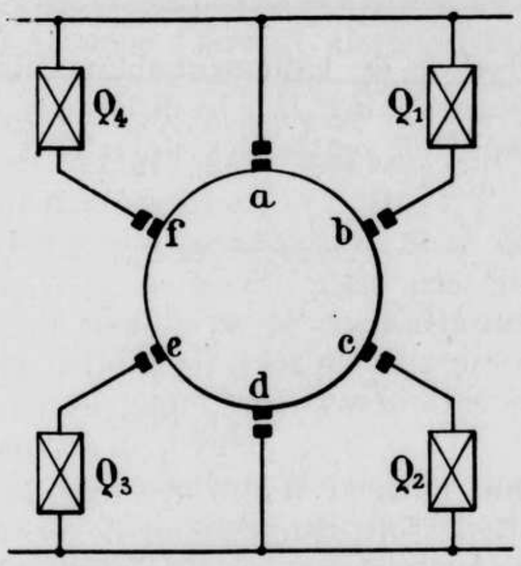


Fig. 11. — Montage symétrique de la métadyne « en araignée ».

varient comme l'indiquent les diagrammes de la figure 12, on retrouvera encore facilement l'action canalisatrice des balais b et f, et des balais c et e pour le courant des balais a et d et inversement. Si les tensions

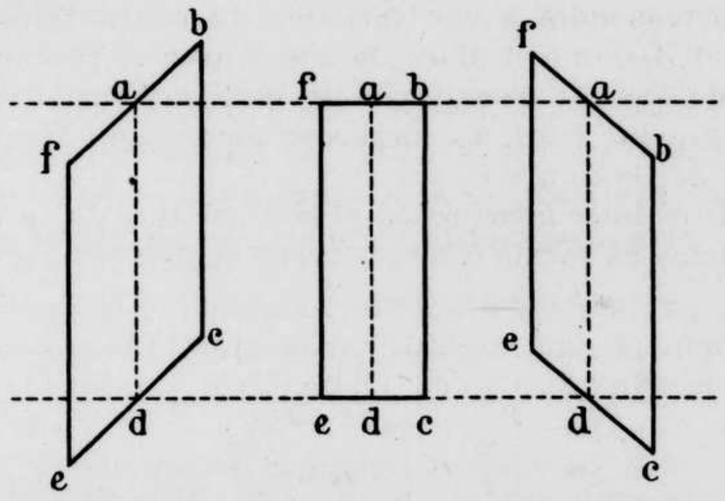


Fig. 12. — Premier cas particulier des diagrammes vectoriels des tensions entre balais de la métadyne montée « en araignée », pour trois points divers de fonctionnement.

varient comme l'indiquent les diagrammes de la figure 13, cette précieuse qualité n'existe plus, et si l'on n'a pas prévu des enroulements statoriques convenables, la métadyne se comportera comme une machine shunt, c'est-à-dire que, lors d'une mise brusque sous tension, les balais subiront des surintensités inadmissibles du courant. Il faudra alors prévoir des enroulements statoriques convenables, tel, par exemple, un enroulement

$$S_{B1} I_a \quad \text{et} \quad S_{E1} I_a \quad \text{où} \quad S_{B1} + S_{E1} = 0,$$

qui a une action canalisatrice envers les courants I_a et I_d. Nous dirons qu'un tel enroulement est un enroulement « canalisateur ».

10. Conclusion. — Le long de notre exposé nous avons défini les catégories suivantes d'enroulements statoriques : enroulements régulateurs, stabilisateurs, compensateurs, variateurs, canalisateurs. Un même enroulement peut avoir simultanément l'effet de plus d'un des enroulements énumérés plus haut. Tous ces enroulements contribuent avec les autres enroulements statoriques à déterminer les caractéristiques fondamentales de la métadyne, et la modification de n'importe

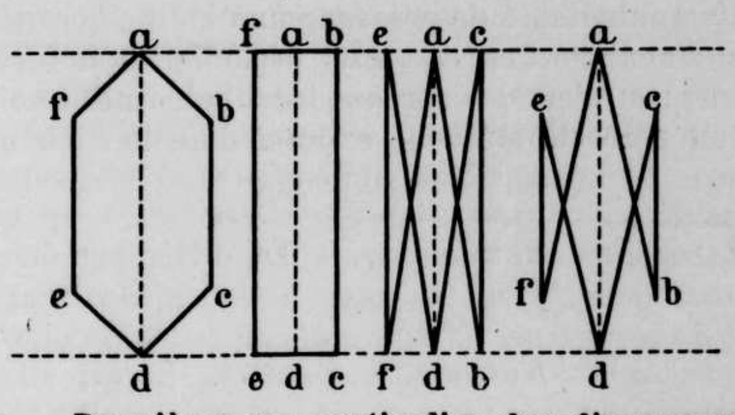


Fig. 13. — Deuxième cas particulier des diagrammes vectoriels des tensions entre balais de la métadyne montée « en araignée » pour quatre points divers de fonctionnement.

lequel d'entre eux conduit à une autre caractéristique fondamentale. Sur une métadyne donnée on choisit toutefois certains des enroulements statoriques plus commodes à modifier et ce n'est que par leur action que l'on passe d'une caractéristique fondamentale à une autre. Nous appellerons toutefois enroulements statoriques « variateurs », ceux qui ont été réellement choisis pour être directement commandés par le mécanicien pour le passage d'une caractéristique à une autre.

IV. **Conclusion**. — Dans la théorie élémentaire du fonctionnement statique de la métadyne (1) on a fait ressortir les propriétés fondamentales du fonctionnement des métadynes qui les rendent susceptibles d'applications pratiques importantes et variées. Mais ces qualités ne peuvent être utilisées que si la stabilité du fonctionnement est assurée et précisément la plus grosse difficulté rencontrée pendant la réalisation c'est d'obtenir cette stabilité. Dans la théorie du fonctionnement dynamique il est surtout question de la stabilité et l'on y voit que le fonctionnement des métadynes est, en général, instable, mais qu'une série de procédés convenablement appliqués peuvent ramener la stabilité dans la plupart des cas. Non seulement le fonctionnement de la métadyne elle-même est alors rendu stable, mais son action stabilisatrice est telle qu'elle peut aisément conduire en fonctionnement stable des machines instables par excellence, telles les dynamos série d'une locomotive marchant en récupération. La dynamique de la métadyne mérite donc de retenir l'attention.

Joseph-Maxime Pestarini.

(1) J.-M. Pestarini. *Loc. cit.*

Revues, analyses et informations

Analyse harmonique des ondes électriques avec le voltmètre thermoionique (1).

1. Introduction. — L'analyse harmonique d'un courant complexe est de la plus haute utilité dans un grand nombre de problèmes de la technique des courants alternatifs. Il est donc souhaitable de posséder une méthode commode et simple d'analyse des courants périodiques industriels et musicaux ; et c'est pour répondre à ce besoin que l'auteur a mis au point la méthode exposée dans l'article qui nous occupe.

2. Exposé de la méthode. — La différence de potentiel complexe

$$\varepsilon = E_1 \cos \Phi_1 + E_2 \cos \Phi_2 + \ldots, \qquad (1$$

où

$$\Phi_2 = 2\,\Phi_1, \text{ etc.},$$

est appliquée aux bornes d'un voltmètre thermoionique ; en série dans le circuit on intercale un oscillateur donnant une force électromotrice

$$\varepsilon_0 = E_0 \cos \Phi_0, \qquad (2)$$

et capable d'être accordée sur la fréquence des harmoniques de ε. Quand la fréquence de cet oscillateur local est approximativement égale à celle de l'harmonique dont on veut mesurer l'amplitude, l'aiguille du milliampèremètre placé dans le circuit anodique de la lampe du voltmètre oscille avec une fréquence égale à la différence de ces deux fréquences. Si cette fréquence de battement est suffisamment faible, on peut mesurer l'amplitude du battement en milliampères et de cette mesure, connaissant l'amplitude des oscillations de l'hétérodyne locale, déduire l'amplitude de l'harmonique considéré.

En effet, dans le cas où il n'y a aucune impédance dans le circuit anodique d'un triode, on a entre la composante périodique i du courant anodique et la tension alternative totale de grille e, la relation

$$i = a_1 e + a_2 e^2 + a_3 e^3 + \ldots. \qquad (3)$$

En supposant, ce qui est vrai pour des amplitudes de tension de grille suffisamment grandes pour le but qu'on se propose, que cette caractéristique est parabolique, on trouve en développant (3) d'après (1) et (2) une somme de termes constants et oscillatoires ; n'agiront sur le milliampèremètre de mesure que les termes constants et ceux dont la fréquence est suffisamment basse pour être suivie par l'aiguille de l'appareil. En appelant δi la portion du courant anodique qui peut produire un effet sur le milliampèremètre on trouve alors

$$\delta i = \frac{a_2}{2} \sum_0^n E_n^2 + a_2 \sum_1^n E_0 E_n \cos (\Phi_0 - \Phi_n). \qquad (4)$$

Pour un réglage de l'oscillateur local voisin de la fréquence d'un harmonique une seule des différences indiquées par le dernier terme aura un effet sensible ; le premier terme seul donnerait une déviation permanente du milliampèremètre ; du deuxième, on déduit pour l'harmonique de rang m :

$$\delta i = a_2 E_0 E_m \cos \Psi t, \qquad (5)$$

Ψ étant la pulsation du battement obtenu, dont l'amplitude est, par conséquent, $a_2 E_0 E_m$. La différence Δi des lectures faites sur l'appareil entre les déviations maximum et minimum est donc

$$\Delta i = 2\, a_2 E_0 E_m. \qquad (6)$$

d'où, en valeur efficace,

$$E_{m\,\text{eff}} = \frac{\Delta i}{4\, a_2 E_{0\,\text{eff}}}; \qquad (7)$$

a_2 est constant dans la limite des hypothèses faites plus haut et s'obtient soit graphiquement soit à la suite d'un étalonnage du voltmètre en valeurs efficaces de la tension.

3. Mise en pratique de la méthode. — L'auteur a expérimenté cette méthode avec un triode dont la caractéristique mutuelle était parabolique entre — 20 et — 4 v pour une tension anodique de 70 v. En choisissant une polarisation de grille de — 13,5 v, le courant de plaque était de 5 ma ; il est donc clair qu'une somme de courants sinusoïdaux d'amplitude maximum inférieure à 8 v pourra être employée ; elle correspondra à une variation du courant anodique de 1 ma et il sera bon alors de compenser le courant permanent de 5 ma et d'employer un milliampèremètre sensible de 1 ma pour faire les mesures ; un schéma approprié est donné sur la figure 1.

Pour estimer la précision et la sensibilité de la méthode, des ondes de forme connue furent analysées : par exemple,

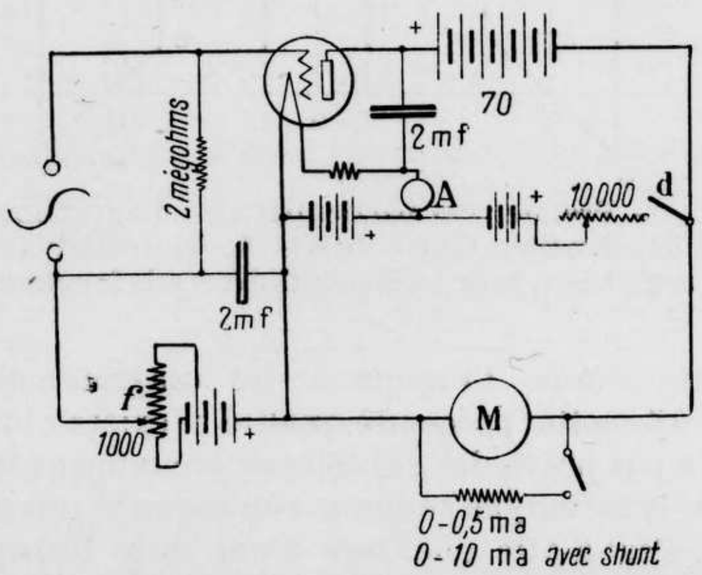


Fig. 1. — Schéma de montage du voltmètre thermoionique pour l'analyse harmonique des ondes électriques. Le courant du filament est réglé avec l'ampèremètre A ; un réglage du milliampèremètre M (shunté, d ouvert) à 5 ma à l'aide d'un potentiomètre de grille compense à un degré élevé les variations des batteries.

on peut ajouter un quatrième harmonique (fourni par un oscillateur local) à un courant alternatif d'éclairage, qui, en général, n'en a pas ; cet harmonique supplémentaire est mesuré directement sur sa source et sa mesure ultérieure,

(1) Chauncey-Guy Suits. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, janvier 1930, t. xviii, p. 178-192, 3 000 mots, 7 figures.

comme composante harmonique, donne une idée de la précision obtenue. On peut aussi analyser une courbe en dents de scie obtenue en chargeant un condensateur en série avec une forte résistance à l'aide d'une onde de forme carrée fournie par un commutateur; cette forme d'onde étant facilement analysée mathématiquement procure un moyen simple de vérification.

4. Discussion. — Les deux sources d'erreurs possibles sont les suivantes :

a) Mauvaise forme d'onde de l'oscillateur local. Les harmoniques de cette onde peuvent alors produire un battement avec ceux de l'onde analysée; mais il faudrait qu'ils aient une amplitude supérieure à 2 ou 5 pour 100 de l'onde fondamentale pour donner une déviation sensible sur la millième partie de la graduation;

b) Caractéristique non parabolique. Si le coefficient a_3 du développement en série (3) n'est pas nul, on peut naturellement tenir compte de ce coefficient et établir la formule correspondante; mais il est plus simple, et c'est toujours possible, de se tenir dans les limites permises de l'amplitude de tension de grille.

La précision que donne cette méthode est au maximum de 1 pour 100; elle diminue à mesure qu'on recherche des harmoniques de rang plus élevé.

La sensibilité maximum est obtenue quand les tensions de la source analysée et de l'oscillateur local sont égales; elle peut être considérablement augmentée par la compensation dans le milliampèremètre, qu'on prend de sensibilité plus grande, des composantes de fréquence zéro; mais naturellement, à mesure que la sensibilité devient plus grande, une très grande constance des sources d'énergie est nécessaire, ainsi qu'une forme d'onde locale très voisine d'une sinusoïde. — F. F.

Appareils producteurs de rayons X, intenses et monochromatiques de très grande longueur d'onde. Tube à rayons X à potentiels échelonnés fonctionnant sous haute tension.

Sous ce titre, M. F. Holweck a présenté à la séance du 2 mai 1930 de la Société française de Physique une communication dont le résumé a été publié dans le « Bulletin » de cette société (1).

C'est ce résumé qui est reproduit ci-dessous.

1. Appareils producteurs de rayons X intenses et monochromatiques de très grande longueur d'onde. — M. Holweck présente le modèle de tube à rayons X monochromatiques qu'il utilise depuis plusieurs années et rappelle quelles sont les différentes méthodes de production de rayons mous destinés aux usages biologiques et thérapeutiques.

1° Lorsqu'on utilise un tube évacué sommairement, soit avec une pompe à diffusion sans condenseur à basse température, soit, à plus forte raison, avec une simple pompe à palettes, on constate que la nature de la substance dont est faite l'anode ne joue aucun rôle, car celle-ci est immédiatement recouverte de tungstène arraché au filament par pulvérisation cathodique; cette électrode fonctionne comme une anode en tungstène massif donnant, pour les faibles tensions d'excitation (3000 v par exemple), un spectre continu dans lequel les raies de basses fréquences du tungstène ne représentent qu'une énergie très faible. Si la fenêtre de sortie du rayonnement est constituée par une substance sans transparence sélective (cellophane de 0,02 mm, par exemple), le rayonnement filtré qui sort se compose d'une bande fortement étalée débutant à 4 Å, présentant son maximum d'énergie vers 5 Å et ne contenant pas de rayons de longueur d'onde plus grande que 7 Å, la cellophane ne laissant passer que 4 à 5 pour 100 des rayons de 8 Å. Etant donné la grande différence d'efficacité thérapeutique et biologique de 4 et de 7 Å, un faisceau aussi complexe ne peut servir à une étude précise. L'intensité globale est de l'ordre de 70 ergs:s:cm² pour 100 milliampères dans le tube.

2° En laissant toutes choses égales d'ailleurs, on peut améliorer l'homogénéité du faisceau en isolant au moyen d'un filtre sélectif, d'aluminium par exemple, la partie à basse fréquence du fond continu. Un filtre de 15 μ d'aluminium (remplaçant la cellophane), laisse passer 11 pour 100 des rayons de 8 Å et est tout à fait opaque aux rayons de longueur d'onde plus courte, le ressaut d'absorption de l'aluminium étant très grand et égal à 13. Le rayonnement ainsi filtré se compose d'une bande ayant un bord abrupt à 7,99 Å et une partie dégradée s'étendant jusqu'à 8,7 Å environ. Ces rayons sont déjà utilisables, car ils sont presque monochromatiques. L'intensité du faisceau est du même ordre que précédemment, 60 ergs : s : cm².

3° Lorsqu'on fait usage d'une anode d'aluminium très propre et d'un excellent vide dans le tube (0,01 barye), on constate que le rayonnement se compose presque uniquement de raies K de ce métal (8,32 Å). Ce rayonnement caractéristique de l'anode qui, avec une pression de 1 barye dans le tube, tombait en quelques minutes au dixième de sa valeur initiale, ne baisse plus que très lentement (de 10 pour 100 en 30 minutes) avec le bon vide. En même temps, on constate que l'anode reste propre, la pulvérisation cathodique n'existant plus. Par suite de l'absence pratique du fond continu, on peut, sans inconvénient, diminuer l'épaisseur du filtre et l'abaisser à 4 μ d'aluminium (laissant passer 70 pour 100) et élever la tension d'excitation. On arrive ainsi à faire rayonner au tube 1500 ergs : s : cm² avec un régime de 50 milliampères sous 4500 v. Le rendement est supérieur à 10^{-4}. L'ionisation dans le faisceau sortant dans l'air est si intense que ce gaz y est rendu assez lumineux pour que le parcours des rayons soit facilement visible dans une demi-obscurité. Au moyen d'un objectif Zeiss, $f = 1{,}4$, donnant à 10 cm une image égale à l'objet, on a pu photographier le phénomène en une demi-heure de pose. M. Holweck a projeté en séance le cliché montrant pour la première fois la trace d'un faisceau de rayons X visibles directement par la luminosité de l'air.

On remarque l'absorption considérable des rayons K de l'aluminium dans l'air (50 pour 100 en 4,2 mm).

Pour produire des rayons monochromatiques de 10 Å, on peut utiliser la radiation K du magnésium au moyen d'une anode d'argent et filtrer les rayons dans une fenêtre de sortie également en magnésium laminé mince.

2. Tube a rayons X, a potentiels échelonnés, fonctionnant sous très haute tension. — M. Holweck rappelle qu'il a émis, en 1923, l'idée d'utiliser, pour la réalisation de tubes à haut potentiel, une succession d'échelons de tension imposant une répartition convenable du potentiel. Cette idée a été utilisée depuis aux Etats-Unis : en particulier, Coolige a réalisé (1927) un tube à rayons cathodiques fonctionnant sur deux ou trois étages de tension. Dans le mode de construction employé aux Etats-Unis, le faisceau d'électrons est obligé, pour être accéléré par la totalité de la différence de potentiel, de parcourir un long chemin,

(1) *Bulletin de la Société française de Physique*, 16 mai 1930, n° 294, p. 95 S-97 S.

atteignant 1 mètre au plus, ce qui rend difficile la concentration des électrons. M. Holweck décrit un mode constructif dans lequel, au contraire, le faisceau ne parcourt pas beaucoup plus de chemin que dans un tube ordinaire (quelques centimètres). Le modèle présenté en séance se compose de deux étages séparés par un diaphragme métallique central et épais faisant partie de la pièce de protection. Ce diaphragme sépare le tube en deux chambres qui sont pompées simultanément par une pompe moléculaire hélicoïdale spécialement étudiée pour avoir un grand débit sous basse pression (10 l : s pour 0,01 barye). Les pièces isolantes qui entourent complètement les électrodes sont en silice fondue. Elles sont interchangeables étant travaillées mécaniquement avec précision. Le filament, monté dans un tube axial, est très facile à changer en ne démontant qu'un petit rodage métallique. L'anode est refroidie par un courant de pétrole mis en mouvement par une pompe de circulation elle-même refroidie par de l'eau. Les premiers essais de cet instrument qui ont été faits au laboratoire de Chimie physique de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris sur le générateur à tension constante des Etablissements Gaiffe-Gallot et Pilon, de 500 kv, ont montré l'avantage considérable que procure l'échelonnement des tensions, ainsi que l'usage d'une pièce métallique centrale au sol rendant la protection facile, même pour les rayons très pénétrants. On a pu faire fonctionner ce premier modèle sous une tension continue de 320 kv avec une puissance de 1 kw. Avec les rayons produits on a pu faire la radiométallographie instantanée d'un petit moteur électrique à carcasse de fonte et obtenir une bonne épreuve en un tiers de seconde, image sur laquelle des parties de fer, épaisses de plus de 5 cm montrent encore de la transparence.

Recherches sur la cataphorèse de petites particules en suspension dans l'eau (1)

1. Théorie. — En 1808, Reuss avait observé que, lorsqu'un diaphragme poreux sépare en deux parties un liquide traversé par un courant électrique, le liquide traverse la membrane en se dirigeant parfois vers l'anode, mais plus souvent vers la cathode. Ce phénomène fut appelé « endosmose électrique ». La cataphorèse est un phénomène symétrique du précédent, et qui correspond au transport de particules en suspension dans l'eau, lorsqu'un courant électrique y passe ; elle fut découverte par Quincke en 1861.

Helmholtz fut le premier à tenter de donner de ces deux phénomènes une explication théorique. Cet auteur montra qu'ils résultent de l'existence d'une couche double à la surface de séparation du solide et du liquide. Dans le cas de l'endosmose, on suppose que la face de la couche double touchant le diaphragme est fixée à sa surface, alors que la face tournée vers le liquide est mobile, de sorte que, sous l'action d'une différence de potentiel appliquée au liquide de part et d'autre du diaphragme, la partie mobile de la couche double franchit les pores du diaphragme, en entraînant par viscosité le liquide environnant. Dans le cas de la cataphorèse, l'une des faces de la couche adhère à la particule et celle-ci se déplace sous l'action du champ électrique. Helmholtz avait pu calculer la vitesse acquise par les particules et montrer qu'elle est donnée par l'équation

$$v = \frac{h\sigma d}{\eta} = \frac{\varepsilon \rho i}{4\pi\eta} \Delta V$$

où h est le champ électrique ; σ, la densité électrostatique à la surface de la particule ; d, l'épaisseur de la couche double ; η, le coefficient de viscosité du liquide ; ε, sa constante diélectrique ; ρ, la résistivité du liquide, et i, la densité de courant. L'expérience a bien vérifié que v est proportionnel au champ appliqué, mais, d'une façon générale, elle montre que la théorie est valable pour de petites particules colloïdales, mais non pour des particules de dimensions microscopiques.

Il faut remarquer que, lorsqu'on fait des observations sur une suspension aqueuse placée dans un récipient clos, la vitesse observée résulte de deux effets : la vitesse de cataphorèse des grains et la vitesse d'endosmose de l'eau. D'après la théorie d'Helmholtz, la partie mobile de la couche double située au contact des parois du récipient se déplace sous l'action du champ, et, comme le récipient est clos, il doit y avoir un courant de retour suivant l'axe du tube, courant qui fut en général ignoré ou considéré comme négligeable. Ainsi, pour obtenir la valeur exacte de la vitesse de cataphorèse, il est nécessaire de retrancher de la valeur observée la vitesse d'endosmose de l'eau suivant l'axe du tube. C'est en vue d'effectuer des mesures comportant cette correction que le présent travail a été entrepris.

2. Résultats d'expériences. — Dans ces expériences, on a surtout étudié des gouttes d'huile en suspension dans l'eau. La cellule est formée d'un tube de verre de 20 cm de longueur et de 7 mm de diamètre intérieur. Le tube est vertical ; il porte une électrode de platine à chaque extrémité. On observe au microscope le passage des gouttes d'huile dans la région médiane du tube. Or, la température est maintenue constante et uniforme Toutes les expériences ont été faites dans une chambre noire, et à 15°C. On pouvait appliquer au tube une différence de potentiel de 210 v. Les résultats obtenus sont les suivants :

1° De petites traces de nitrate de thorium en solution dans l'eau réduisent la charge des gouttes d'huile, et peuvent même la renverser ;

2° La vitesse de cataphorèse d'une goutte d'huile croî jusqu'à un maximum de $3{,}9 \times 10^{-4}$ cm : s, pour un champ électrique de 1 v : cm et une eau de conductivité égale à 4×10^{-6} mho : cm. Dans l'eau plus pure, cette valeur est beaucoup moindre, et tombe à $2{,}5 \times 10^{-4}$ cm : s pour de l'eau de conductivité égale à $1{,}3 \times 10^{-6}$ mho : cm ;

3° Pour les solutions d'alcool et d'eau, la vitesse v de cataphorèse est liée à la constante diélectrique ε de la solution par l'équation

$$v = \varepsilon (ax - b)$$

où a et b sont des constantes et x, le titre de l'eau dans la solution ;

4° Tous les corps essayés agissent comme s'ils prenaient dans l'eau des charges négatives ;

5° Des particules sphériques ont une vitesse de cataphorèse bien plus grande que des fragments irréguliers du même corps ;

6° Des gouttes sphériques solides et liquides de toutes les substances essayées ont une vitesse de cataphorèse de $3{,}9 \times 10^{-4}$ cm : s pour un champ électrique de 1 v : cm dans de l'eau de conductivité égale à 4×10^{-6} mho : cm.

7° Les rayons X n'ont pas d'effet permanent sur la charge de gouttes d'huile en suspension dans l'eau. — L. B.

(1) D.-A. Newton. *The philosophical Magazine*, mai 1930, t. IX (7e série), p. 769-787, 2 000 mots, 8 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Les organes de pivotage des compteurs d'électricité

L'auteur décrit, dans cet article, une méthode d'essai rapide des organes de pivotage des compteurs d'énergie électrique et donne quelques-uns des résultats obtenus qui permettent de préciser les conditions d'usure de ces organes et les conséquences de cette usure. Cette méthode consiste à soumettre les organes essayés en un temps relativement court, de 10 à 20 heures, au régime normal correspondant à la durée de leur service, c'est à-dire à appliquer au pivot un effet égal à celui de l'équipage mobile et à faire faire à ce système mobile un très grand nombre de tours, de l'ordre de 1 à 4 millions, à une vitesse convenablement déterminée; l'auteur indique comment doit être évaluée cette vitesse pour que les conditions de fonctionnement du système en mouvement, sans interruption durant l'essai, se rapprochent le plus possible de celles du régime normal. Il décrit le dispositif employé et donne les résultats de l'analyse d'un certain nombre de microphotographies qui permettent de se rendre compte de l'importance de l'usure. L'influence de cette usure sur les indications des compteurs est ensuite mise en évidence par des courbes montrant ces erreurs. Enfin, la connaissance précise des conditions d'usure des diverses catégories de pierres peut guider dans le choix de la nature des pierres à employer pour ces organes et permet de fixer des règles pour l'entretien et la réparation des compteurs, règles qui sont exposées dans le dernier paragraphe de cet article.

I. **Introduction.** — En général, un compteur d'électricité est muni d'un système moteur dont la partie mobile porte à sa base un pivot reposant sur une crapaudine. Les pivots, en acier, sont terminés par une partie hémisphérique polie ou portent sur leur extrémité une bille en acier poli. Les crapaudines sont constituées par des saphirs ou rubis naturels ou artificiels à concavité sphérique. Ces organes de pivotage, quand ils sont de mauvaise qualité, sont la cause générale d'un mauvais fonctionnement des compteurs. Après un certain temps de fonctionnement, le pivot et la pierre s'usent au point de contact, ce qui entraîne une augmentation du couple de frottement : le compteur retarde aux faibles charges.

Il est donc très important d'utiliser des pivots et des pierres de bonne qualité. Jusqu'ici on était arrêté dans le choix par l'absence d'une méthode rapide d'essai de ces organes. Habituellement, on se limitait à un examen du poli et de la forme du pivot à la loupe et à un examen de la pierre à la pointe. Ces essais permettaient de se rendre compte du poli, mais ne donnaient aucune indication sur la dureté ni sur la résistance au frottement du pivotement. Nous nous sommes proposé de déterminer une méthode rapide d'essai et de rechercher les causes de l'usure prématurée des pivots et des pierres. En même temps, nous avons étudié l'influence de l'usure de ces organes sur le fonctionnement des compteurs et recherché les améliorations à apporter dans les méthodes d'entretien de ces organes.

II. **Frottement de pivotement.** — Le bout du pivot (fig. 1) est appliqué contre la surface de la pierre avec une force égale au poids de l'équipage mobile. L'acier étant élastique, le bout du pivot entre en contact avec la pierre sur une surface de forme elliptique. Les

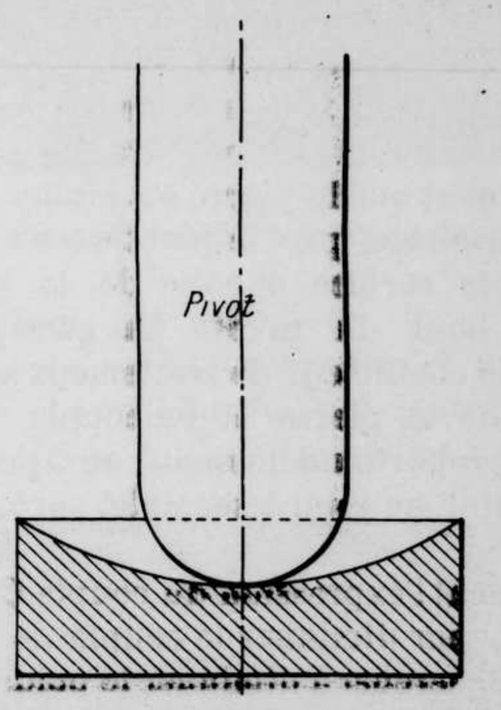


Fig. 1. — Croquis schématique du pivot d'un compteur.

demi-axes de l'ellipse de contact sont donnés par les formules de Hertz (1),

$$a = A\sqrt[3]{\frac{2P}{1,5E}\times r},$$

$$b = B\sqrt[3]{\frac{2P}{1,5E}\times r},$$

P étant le poids de l'équipage mobile; r, le rayon de courbure du pivot; E, le module d'élasticité de

(1) René-Marcel Fichter; Contribution à l'étude des compteurs d'électricité. *Revue générale de l'Electricité*, 7, 14 et 21 juin 1924, t. XV, p. 1035-1043, 1083-1095 et 1131-1141 (notamment, p. 1084-1085).

l'acier; A et B, deux coefficients donnés par des tables spéciales et qui dépendent du rayon de courbure du pivot et de celui de la pierre.

Le couple de frottement de pivotement est donné par la formule de Léauté.

$$C = kfLP,$$

k étant un coefficient, d'après Hertz, égal à 0,093; L, la longueur de l'ellipse limitant l'aire de contact; f, le coefficient de frottement.

D'après Fichter, le coefficient de frottement f de l'acier poli sur une pierre polie est égal à 0,21, d'où

$$C = 0{,}093 \times 0{,}21\ LP = 0{,}0195\ LP.$$

Le compteur tournant à une vitesse de N, en tours par minute, la puissance absorbée par le pivotement est

$$C\omega = 0{,}0195\ LP\omega \quad \text{avec} \quad \omega = \frac{2\pi N}{60},$$

et après un temps t de fonctionnement, le travail dépensé par le pivotement est

$$C\omega t = 0{,}0195\ LP\omega t.$$

Ce travail dissipé sous forme de chaleur contribue à l'usure des organes de pivotement de la façon suivante : le pivot en frottant sur la pierre finit par dépolir la surface en contact avec le pivot, d'autant plus rapidement que la pierre est moins dure et que la puissance absorbée par le pivotement $C\omega$ est plus grande. Cette surface dépolie de la pierre attaque ensuite le bout du pivot. La surface de contact augmente, le coefficient de frottement augmente avec la rugosité de la pierre et le couple de frottement augmente proportionnellement au produit fL. Le compteur subit un retard sensible, surtout aux faibles charges.

En examinant l'expression du couple $C = 0{,}0195\ LP$, on voit que, pour diminuer le couple de frottement, il faut d'abord chercher à diminuer le poids de l'équipage mobile; mais on est limité par des considérations d'ordre mécanique. Pour un type de compteur donné, P est une constante et le couple de frottement est proportionnel à L, longueur de l'ellipse limitant l'aire de contact.

Pour les rayons de courbure usuels des pivots et des pierres, l'ellipse de contact peut être assimilée à un cercle. Le diamètre de ce cercle est donné par la formule de Hertz suivante :

$$d = 2{,}2 \sqrt[3]{\frac{P}{E}\, r}.$$

La longueur L est alors

$$L = \pi d = 2{,}2 \times \pi \sqrt[3]{\frac{P}{E}\, r} = K \sqrt[3]{r}.$$

Donc, en fonction du rayon de courbure r du pivot, le couple de frottement varie proportionnellement à $\sqrt[3]{r}$. De même, le travail de pivotement $\mathfrak{C} = C\omega t$, pour une vitesse et une durée données, varie proportionnellement à $\sqrt[3]{r}$,

$$\mathfrak{C} = K_1 r^{\frac{1}{3}}.$$

Ce travail agit sur la surface de contact

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\left(2{,}2 \sqrt[3]{\frac{P}{E}\, r}\right)^2.$$

En fonction du rayon de courbure du pivot la surface de contact est

$$S = K_2 r^{\frac{2}{3}}$$

et le travail par unité de surface de contact est

$$\frac{\mathfrak{C}}{S} = \frac{K_1 r^{\frac{1}{3}}}{K_2 r^{\frac{2}{3}}} = K_3 r^{-\frac{1}{3}} = K_3 \sqrt[3]{\frac{1}{r}}.$$

Pour que les organes de pivotage résistent le plus longtemps possible, il faut chercher à diminuer le travail par unité de surface de contact. L'expression précédente montre que l'un des moyens pour diminuer ce travail par unité de surface de la pierre consiste à augmenter le rayon de courbure du pivot. Mais on est vite limité par le couple de frottement qui croît avec ce rayon de courbure et augmente la puissance nécessaire pour le démarrage du compteur.

La pratique montre que les pivots ayant un rayon de courbure de 0,5 mm donnent des points de démarrage suffisants. Une valeur voisine de 0,5 mm paraît donc être la plus indiquée pour le rayon de courbure des pivots des compteurs usuels.

III. **Détermination d'une méthode d'essai des organes de pivotage.** — 1. Principe de la méthode. — Reprenons l'expression du couple de frottement

$$C = kfLP.$$

Le travail total absorbé par le frottement de pivotement, le compteur tournant à une vitesse ω durant un temps t, est

$$\mathfrak{C} = \int_0^t kfLP\omega\, dt.$$

Pour un compteur donné les quantités k, L et P sont des constantes, le coefficient de frottement f, qui est indépendant de la vitesse de glissement et de l'étendue des surfaces en contact, est aussi une constante indépendante de t. Si l'essai est fait à une vitesse constante, nous avons

$$\mathfrak{C} = kfLP\omega \int_0^t dt = kfLP\omega t.$$

Un essai d'usure des organes de pivotage dans des conditions normales (compteur fonctionnant à sa vitesse normale) conduit à une durée de l'ordre de plusieurs mois ou années. Pour faire effectuer aux organes de pivotage le même travail $\mathfrak{C}$ en un temps plus court, il faut augmenter le facteur $kfLP\omega$. Les grandeurs k et f sont des constantes indépendantes. D'autre part, il est impossible d'augmenter le poids P, car le facteur L dépend de P et il est indispensable de garder la même surface de contact que dans les conditions normales de fonctionnement. On voit donc que le seul facteur sur lequel on puisse agir est la vitesse de rotation. Si on augmente cette vitesse, aucun des facteurs k, f, L, P, ne change et l'essai s'effectue dans des conditions normales, en un temps d'autant plus court que la vitesse de rotation est plus grande.

Le travail nécessaire pour dépolir la surface de contact de la pierre,

$$\mathfrak{C} = C\omega t = K\,\frac{2\pi N}{60}\,t,$$

est proportionnel à Nt, nombre total de tours effectués par le pivot. Il est donc logique d'évaluer la qualité des organes de pivotage en fonction du nombre total

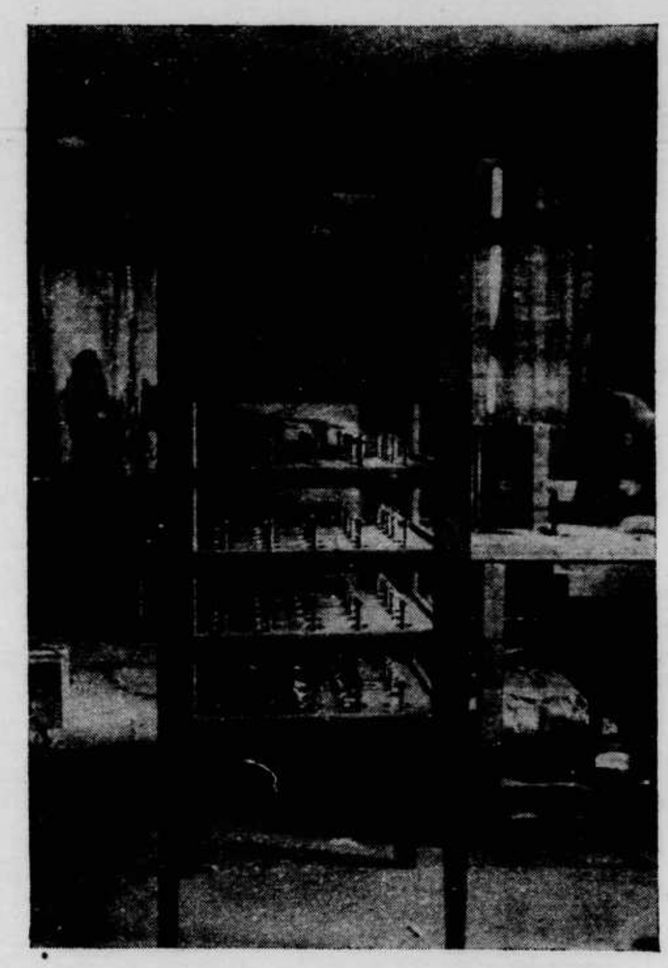


Fig. 2. — Vue de la machine à essayer les organes de pivotage.

de tours nécessaires au pivot pour dépolir et user la pierre. D'autre part, la pratique montre que des pivots et des pierres de même fabrication, placés dans des compteurs identiques, s'usent d'une façon très différente. Il est donc indispensable de faire les essais sur un grand nombre de ces organes à la fois et de prendre comme résultat une moyenne.

L'ensemble de ces considérations nous a conduit à construire une machine à essayer les organes de pivotage constituée de la façon suivante :

Un meuble carré en bois, dont l'encombrement en surface est de 0,80 m × 0,80 m et la hauteur, de 2 m, porte à sa partie supérieure (fig. 2) un ventilateur qui aspire l'air extérieur et l'envoie vers l'intérieur du meuble, où il agit sur 100 moulinets disposés sur quatre planchettes munies chacune de 25 trous (fig. 3). Pour que la pression soit constante sur toute la sur-

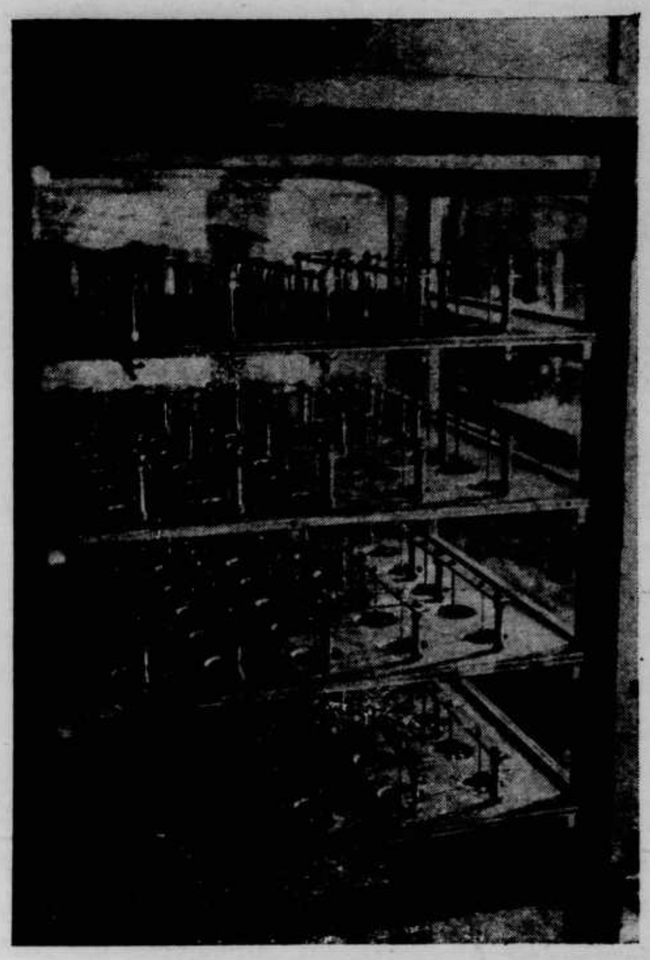


Fig. 3. — Vue des planchettes supportant les moulinets.

face de la première planchette, l'air du ventilateur passe à travers un nid d'abeilles et une toile métallique serrée. La vitesse de l'air dans chaque trou de chaque planchette est la même et les moulinets (fig. 4

Fig. 4. — Vue de la face supérieure d'une planchette supportant les moulinets.

et 5), qui sont d'une construction identique, tournent tous à la même vitesse.

Chaque moulinet se compose d'un axe supportant un disque métallique découpé en six parties égales et inclinées à 30° environ. L'axe se termine par une partie filetée sur laquelle se visse une pièce supportant le pivot. Cette pièce est interchangeable et permet l'essai des pivots de différents diamètres et longueurs. A la

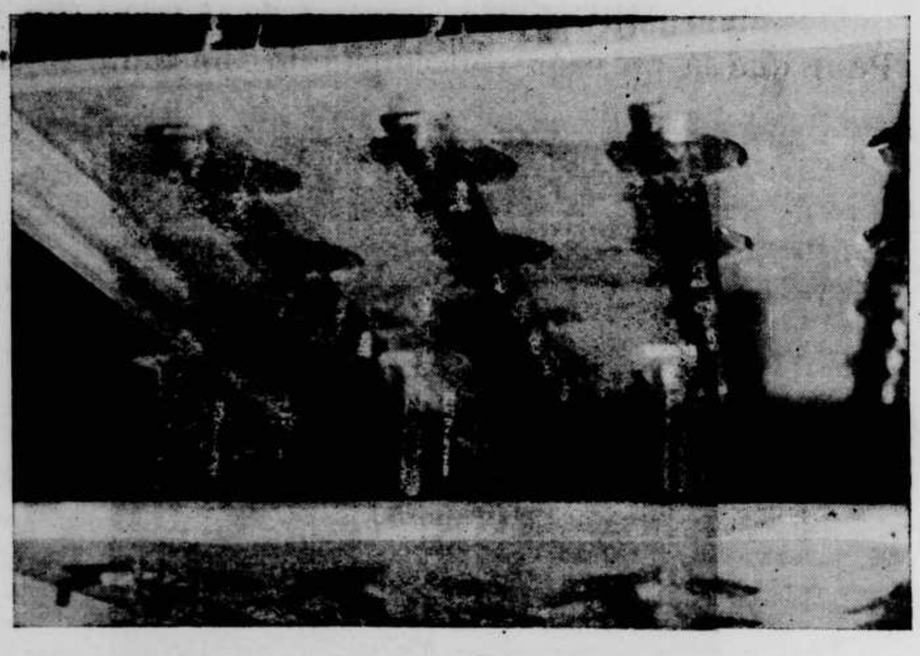


Fig. 5. — Vue de la face inférieure d'une planchette supportant des moulinets.

partie inférieure du moulinet, le pivot repose sur une crapaudine à pierre, vissée dans une barrette transversale (fig. 5). Ces barrettes sont amovibles et interchangeables, permettant l'essai de différentes crapaudines.

Les côtés et la porte du meuble comportent des vitres qui permettent d'observer les moulinets. Le ventilateur est muni d'un moteur à collecteur qui est monté en série avec une résistance variable et peut être lancé à la vitesse voulue.

2. Mesure de la vitesse des moulinets. — L'axe d'un moulinet a été muni d'un petit cylindre en ébonite qui porte une partie conductrice suivant l'une de ses génératrices (fig. 4). Deux pointes métalliques, disposées au voisinage du cylindre en ébonite, ont été alimentées

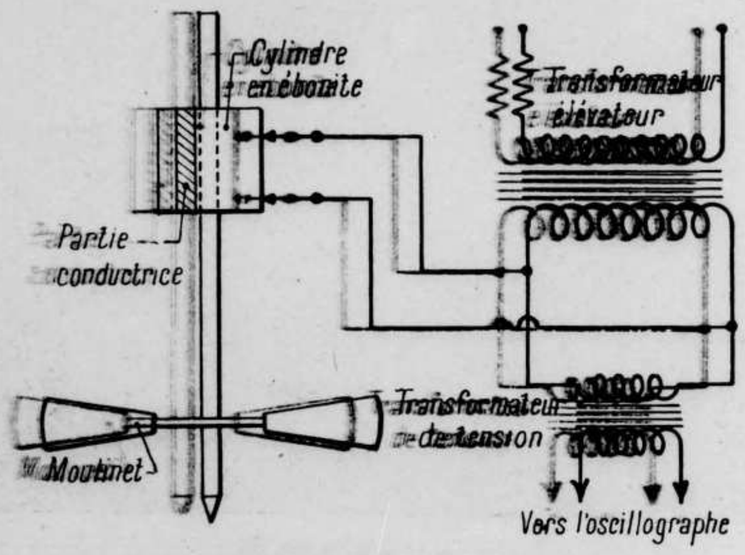


Fig. 6. — Schéma du dispositif de mesure de la vitesse des moulinets.

sous une tension de quelques milliers de volts par un transformateur élévateur (fig. 6). Quand la partie conductrice du cylindre passe devant les pointes, un arc éclate et la tension aux bornes du transformateur tombe à une valeur très faible. Ces chutes de tension sont enregistrées par un oscillographe dont l'équipage est monté sur le secondaire d'un transformateur de potentiel, branché aux bornes du transformateur élévateur. La tension alternative enregistrée à l'oscillographe durant un temps t présente un nombre de déformations égal au nombre de tours effectués par le moulinet durant ce même temps t. Il est facile ainsi de déterminer la vitesse des moulinets. De nombreux essais ont montré que, pour un débit donné du ventilateur, la vitesse de tous les moulinets est sensiblement la même. Il est commode de connaître cette vitesse en fonction du courant du ventilateur. Le graphique de la figure 7 montre que la machine permet de réaliser toutes les vitesses jusqu'à 1 700 t : mn environ.

Le choix de la vitesse à adopter pour les essais des organes de pivotage est délicat. A une vitesse trop

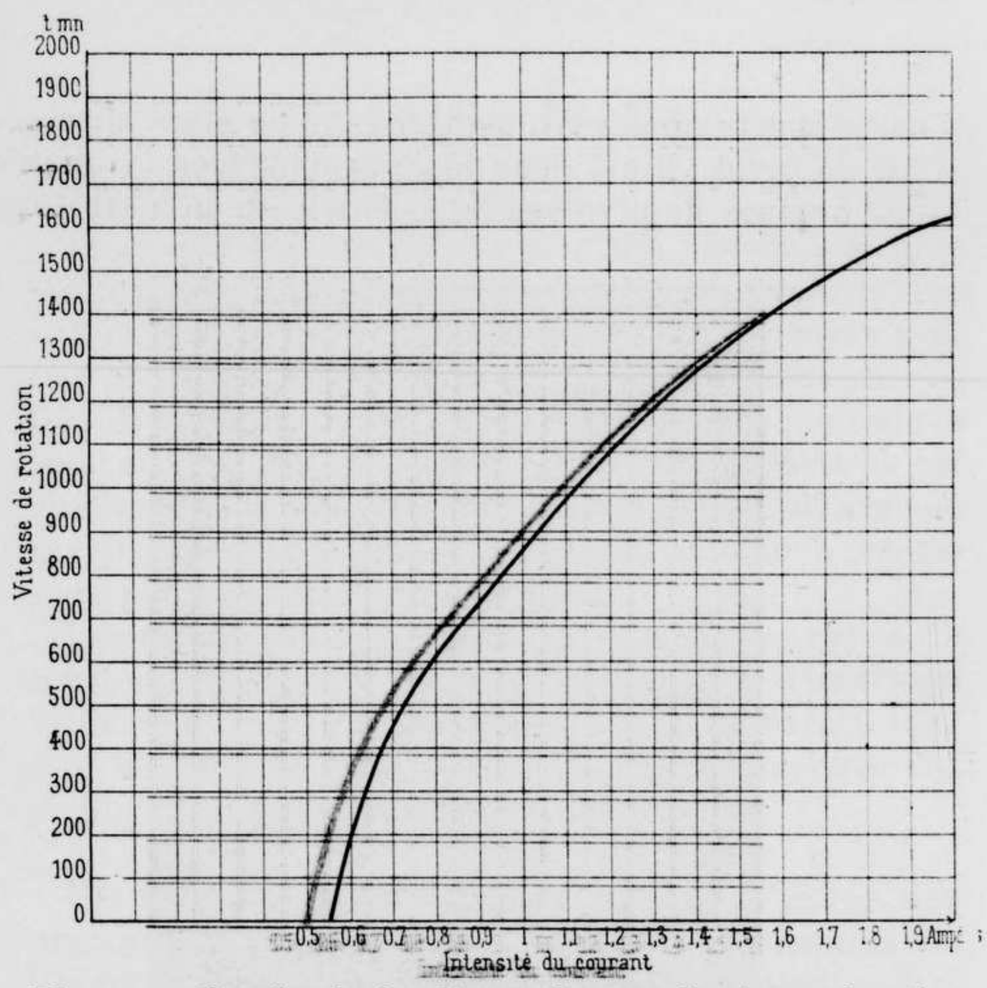


Fig. 7. — Courbe de la vitesse des moulinets en fonction de l'intensité du courant absorbé par le moteur.

grande, l'inertie du moulinet intervient en déplaçant la pointe du pivot sur la pierre d'une façon anormale. Par contre, une faible vitesse conduit à un essai trop long. Des comparaisons entre les microphotographies des parties usées des organes de pivotage obtenues à la machine et celles prélevées sur des compteurs ayant fonctionné sur le réseau montrent qu'il ne faut pas dépasser la vitesse de 1 100 t : mn. Toutefois, les meilleurs résultats sont obtenus avec une vitesse de 800 t : mn, que nous avons adoptée comme vitesse d'essai (voir les figures 8 à 10). Cette vitesse permet d'effectuer un million de tours en 21 heures environ et comme les résultats d'essai se précisent après 1 à 2 millions de tours, la durée de l'épreuve est de 1 à 2 jours

environ. Un compteur normal d'éclairage a une utilisation comprise entre 300 et 400 heures par an, ce qui correspond à environ 800 000 ou 1 000 000 de tours en

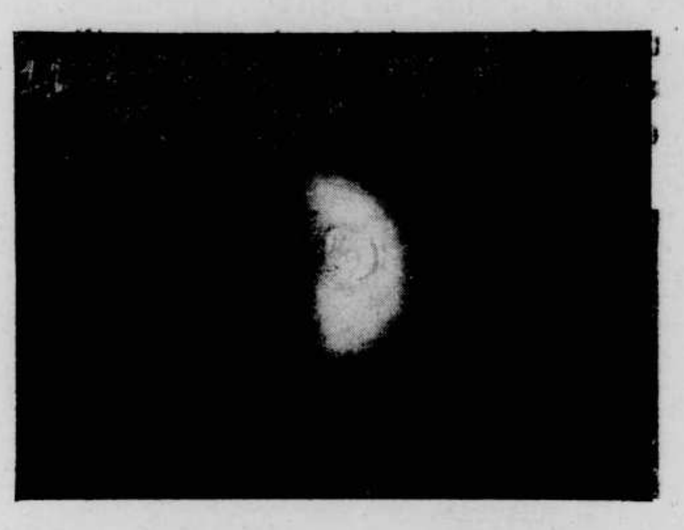


Fig. 8. — Microphotographie d'un saphir usé par la machine après 2×10^6 tours à la vitesse de 800 t : mn.

une année. On peut donc dire que le travail d'usure qui s'effectue normalement sur le réseau en une année

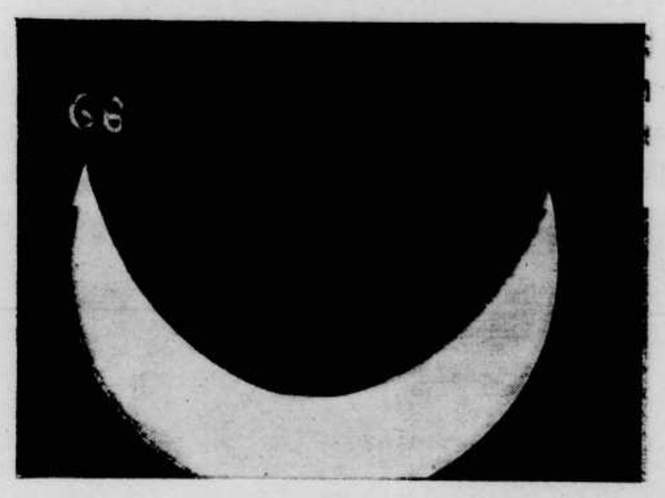


Fig. 9. — Microphotographie d'un pivot usé par la machine après 2×10^6 tours à la vitesse de 800 t : mn.

peut être reproduit à l'aide de notre machine en moins de deux jours.

Au départ, les organes de pivotage étant en état de

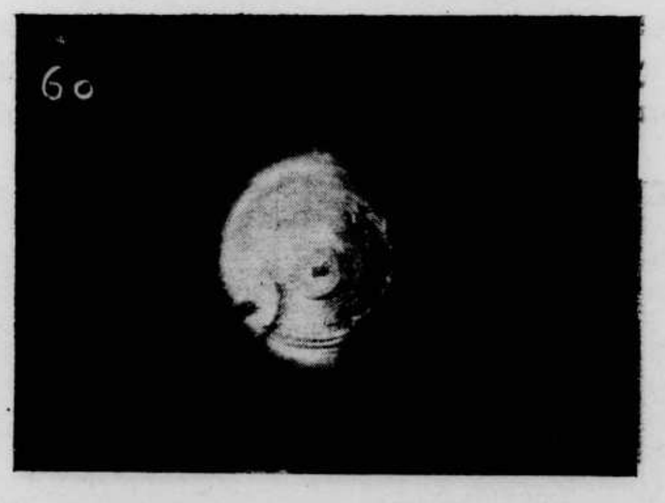


Fig. 10. — Microphotographie d'un saphir usé par la machine après 4×10^6 tours à la vitesse de 800 t : mn.

neuf, le couple de frottement est proportionnel à L, longueur de l'ellipse de contact. Après un certain nombre de tours, les organes de pivotage s'usent et présentent des surfaces de contact beaucoup plus importantes et, en général de forme circulaire. Le couple de frottement est exprimé alors par

$$C = \frac{1}{3} f_1 P d,$$

où f_1 est le coefficient de frottement de la pierre rayée sur acier ; P, le poids de l'équipage mobile ; d, le diamètre de la surface usée.

Cette expression montre que le couple de frottement est proportionnel au diamètre de la partie usée. Les organes de pivotage seront d'autant meilleurs que, pour les mêmes rayons de courbure des pivots et des pierres, leur partie usée sera plus petite après un nombre de tours déterminé.

Donc la qualité des pierres et celle des pivots seront déterminées, d'une part, par le diamètre de la partie usée de chacun des organes et, d'autre part, par le nombre de tours qu'il aura fallu pour produire une usure d'un diamètre donné.

3. Essai des organes de pivotage. — On prend au moins 25 pierres qu'on monte dans la machine avec des pivots de la même fabrication et du même rayon de courbure. Les pivots sont examinés au microscope et ceux qui ont une forme irrégulière ou un défaut de polissage, éliminés. On mesure également le rayon de courbure des pierres.

On fait un premier essai en effectuant à l'aide de la machine 100 000 tours environ et on examine les organes de pivotage au microscope en notant la quantité de pierres et de pivots entamés, ainsi que le diamètre de chaque usure. Ensuite on replace les organes dans la machine, dans le même ordre et on fait un deuxième essai avec 1, 2 ou 3 millions de tours suivant la qualité des pierres et des pivots. On fait ensuite un deuxième examen microscopique en notant le diamètre de chaque usure. On calcule le diamètre moyen de l'usure des pivots, D_p, et celui des pierres, D_s, pour chacun des deux essais. Ce sont ces chiffres qui servent d'indice de la qualité des organes de pivotage.

Les microphotographies (fig. 11 à 20) permettent de suivre la progression de l'usure d'un pivot et d'une pierre (rubis artificiel) en fonction du nombre de tours effectués par le pivot à la vitesse de 800 t : mn.

Remarques. — La vitesse de 800 t : mn adoptée pour les essais produit un travail de frottement plus important que celui produit à la vitesse normale des compteurs. Il peut en résulter un certain échauffement du pivot. Supposons qu'une bille d'acier de 1 mm de diamètre, tournant à 800 t : mn, soit appliquée avec une force de 25 g contre une pierre polie ; la puissance absorbée par le frottement, calculée d'après la formule de Léauté, correspondra à 5×10^{-6} petites calories par seconde environ. Dans ces conditions, l'élévation de température d'une sphère de 1 mm de diamètre placée dans l'air calme, d'après la formule de Péclet pour les corps sphériques, sera de 0,04°C environ. Comme les pivots sont en mouvement et comme, d'autre part, la

chaleur se communique également à la pierre et à l'axe supportant le pivot, l'élévation de température due au frottement de pivotement peut être considérée comme nulle.

IV. **Mesure des rayons de courbure des pivots et des pierres.** — Pour la mesure du rayon de courbure d'un pivot on prend une microphotographie du profil de la partie hémisphérique du pivot et on détermine le rayon de courbure par simple construction graphique ou à l'aide de jauges spéciales, en tenant compte du grossissement du microscope (fig. 21 et 22).

La mesure du rayon de courbure d'une pierre est un peu plus délicate : on relève une empreinte de la pierre

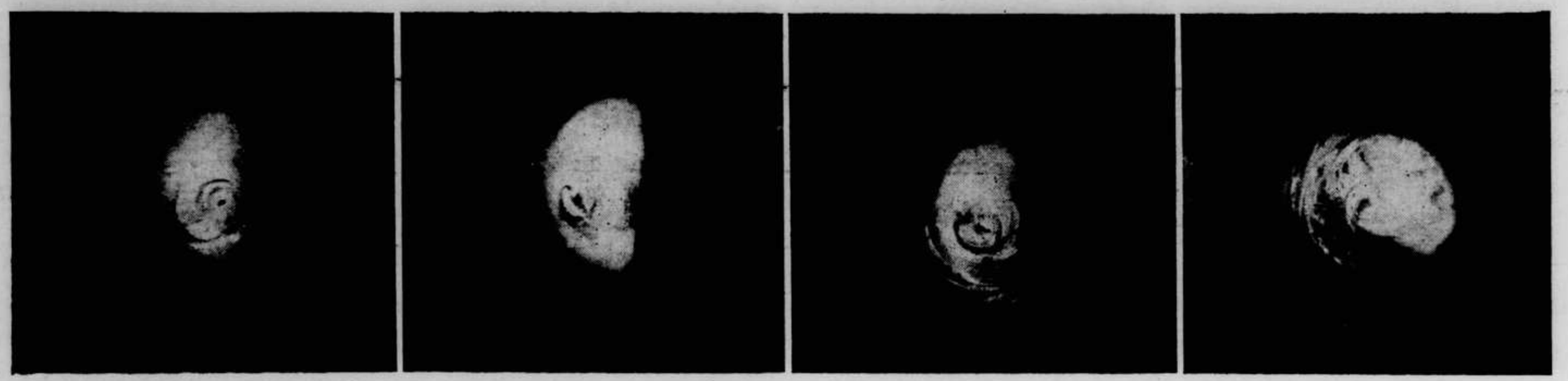


Fig. 11 à 14. — Microphotographies d'un rubis artificiel usé : après 10^6 tours; après 2×10^6 tours; après 5×10^6 tours; après 10×10^6 tours.

en coulant de la cire dans la concavité. On mesure le rayon de courbure de l'empreinte (fig 23 et 24) de la même façon que celui d'un pivot.

On peut aussi faire des mesures directes, sans prise de photographies. Il suffit de projeter le pivot ou l'empreinte de la pierre sur le verre dépoli de l'appareil

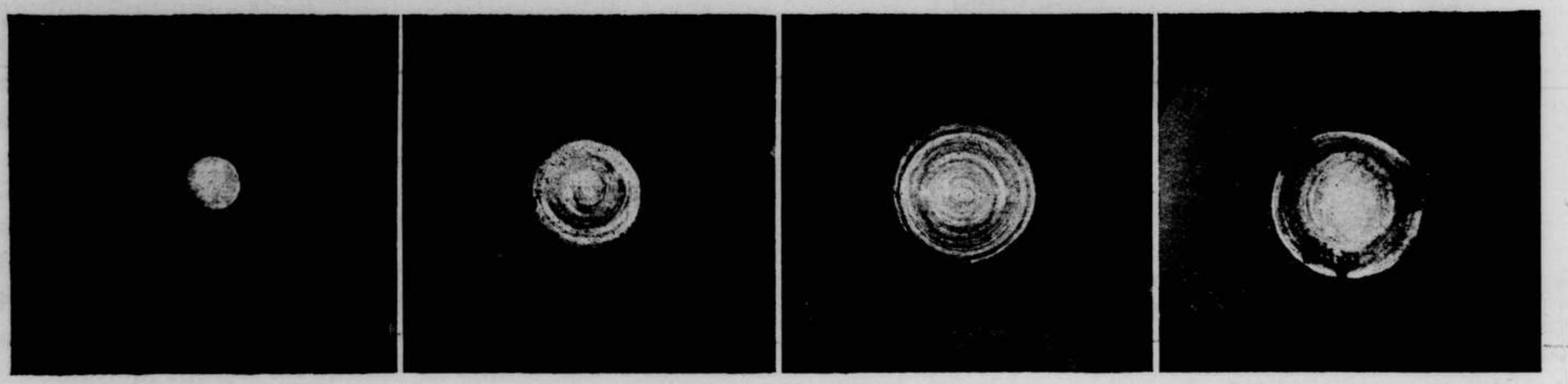


Fig. 15 à 18. — Microphotographies (vue en bout) d'un pivot usé : après 10^6 tours; après 2×10^6 tours; après 5×10^6 tours; après 10×10^6 tours.

photographique du microscope et de comparer la courbure de ces organes à celle des jauges métalliques spécialement construites pour cet usage.

sur l'exactitude des compteurs n'est pas la même pour tous les types de compteurs. L'expression du couple de frottement montre qu'elle dépend en partie du poids

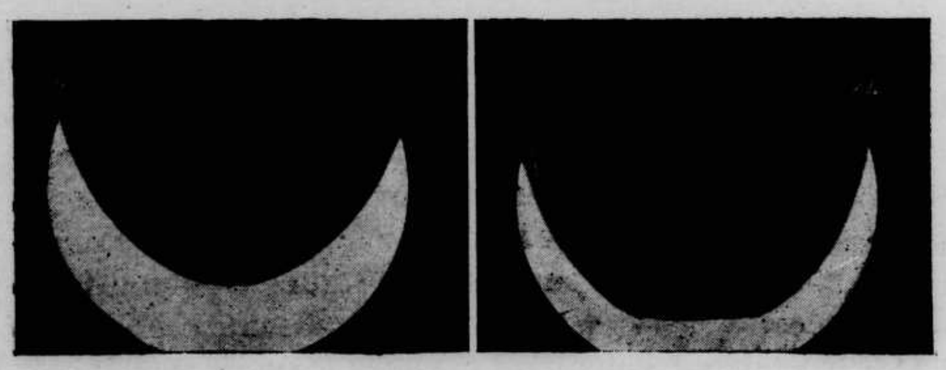


Fig. 19 et 20. — Microphotographies (vue de profil) d'un pivot usé : après 10^6 tours; après 10×10^6 tours.

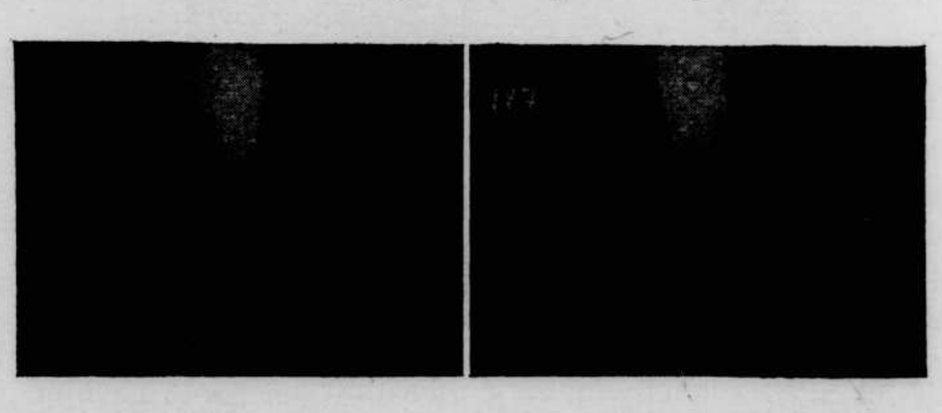


Fig. 21 et 22. — Microphotographies du profil de la partie hémisphérique d'un pivot : de forme ronde, le rayon de courbure étant égal à 0,48 mm; de forme pointue, le rayon de courbure étant de 0,1 mm.

V. Influence de l'usure des organes de pivotage sur les compteurs. — Il est évident que l'influence du diamètre de l'usure des organes de pivotage

de l'équipage mobile. Nous avons fait l'étude de cette influence sur un compteur B. T. R. III monophasé 10 A,

115 v. Les courbes d'erreurs entre 1/10 et 1/50 de la charge nominale du compteur sont présentées sur la figure 25. Les organes de pivotage usés, chaque pivot ayant agi sur la pierre correspondante, ont été choisis

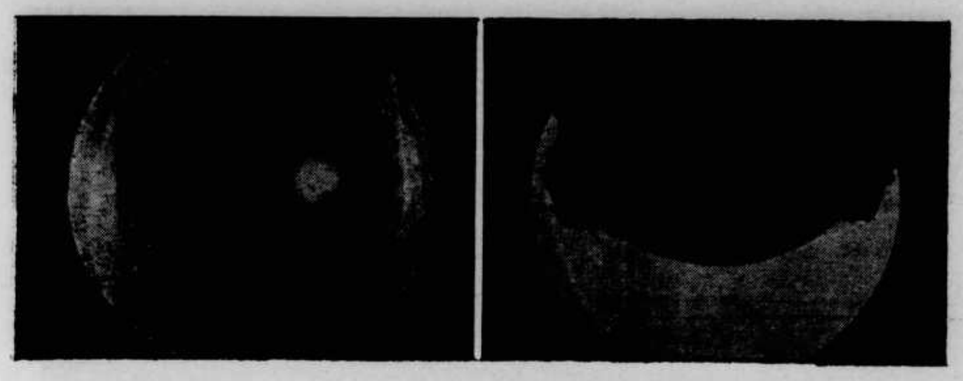


Fig. 23 et 24. — Microphotographies d'un rubis artificiel et de l'empreinte du rubis artificiel avec rayon de courbure de 1,55 mm.

tels que $D_p = D_s$. Des courbes de la figure 25 on peut déduire, pour une charge donnée, les courbes d'augmentation du retard, en centièmes, du compteur en fonction des diamètres de la surface usée du pivot, D_p, et de celle de la pierre D_s. Ces courbes sont représentées

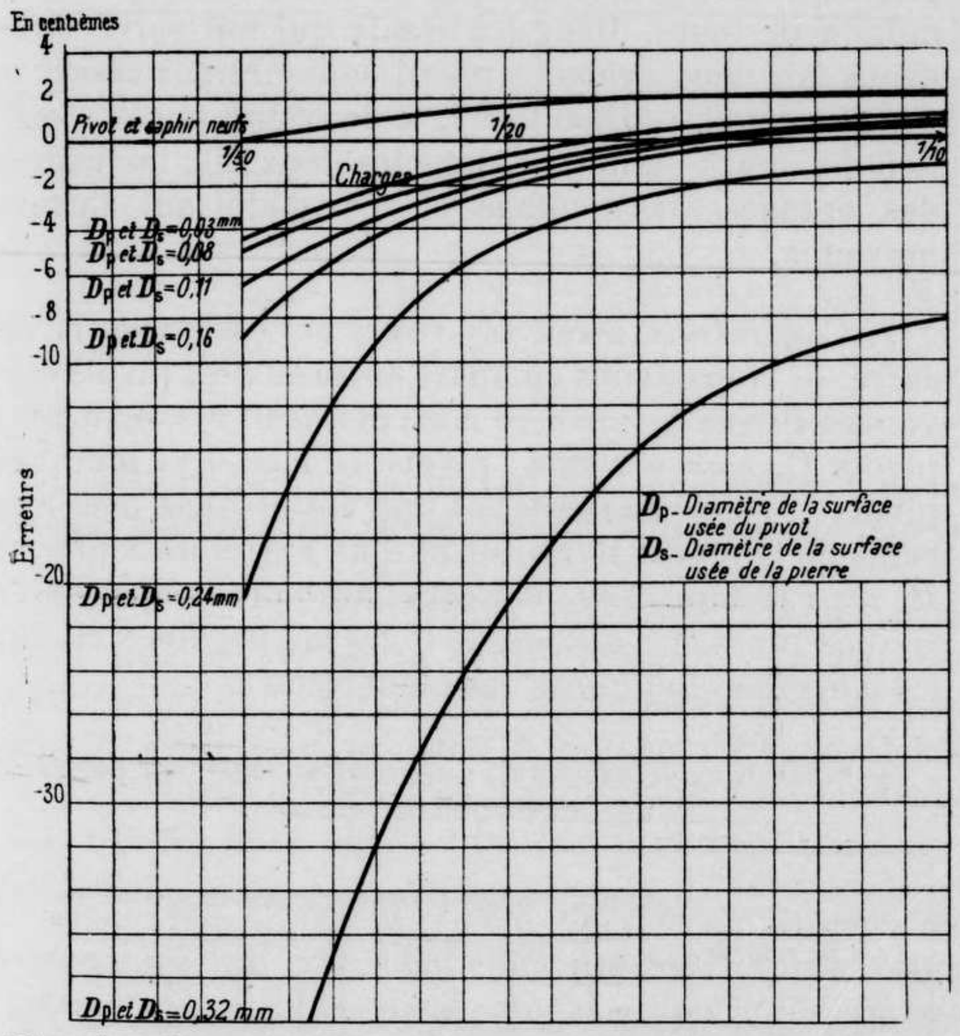


Fig. 25. — Courbes d'erreur d'un compteur monophasé BTR III muni d'organes de pivotage usés.

sur la figure 26. En examinant ces courbes, on constate qu'à 1/10 de la charge nominale une usure de 0,2 mm de diamètre ne fait retarder le compteur que de 2 pour 100 environ, tandis que le retard au 1/20 et au 1/50 de la charge nominale est respectivement de 4,5 et de 13 pour 100. Donc l'essai à 1/10 de la charge nominale du compteur ne permet pas toujours de constater que les organes de pivotage, dont l'usure est inférieure à 0,2 mm de diamètre, sont détériorés. L'essai à 1/20 de la charge nominale est plus précis, car une usure de 0,1 mm de diamètre donne à cette charge un retard de 3 pour 100 environ. Mais c'est seulement un essai à 1/50 de cette même charge qui peut déterminer sûrement le moindre défaut des organes de pivotage.

On peut dire qu'en général, le pivot et la pierre n'influent pas d'une façon exagérée sur l'exactitude des compteurs quand le diamètre de l'usure est inférieur à 0,1 mm. De 0,1 mm à 0,2 mm cette action est néfaste

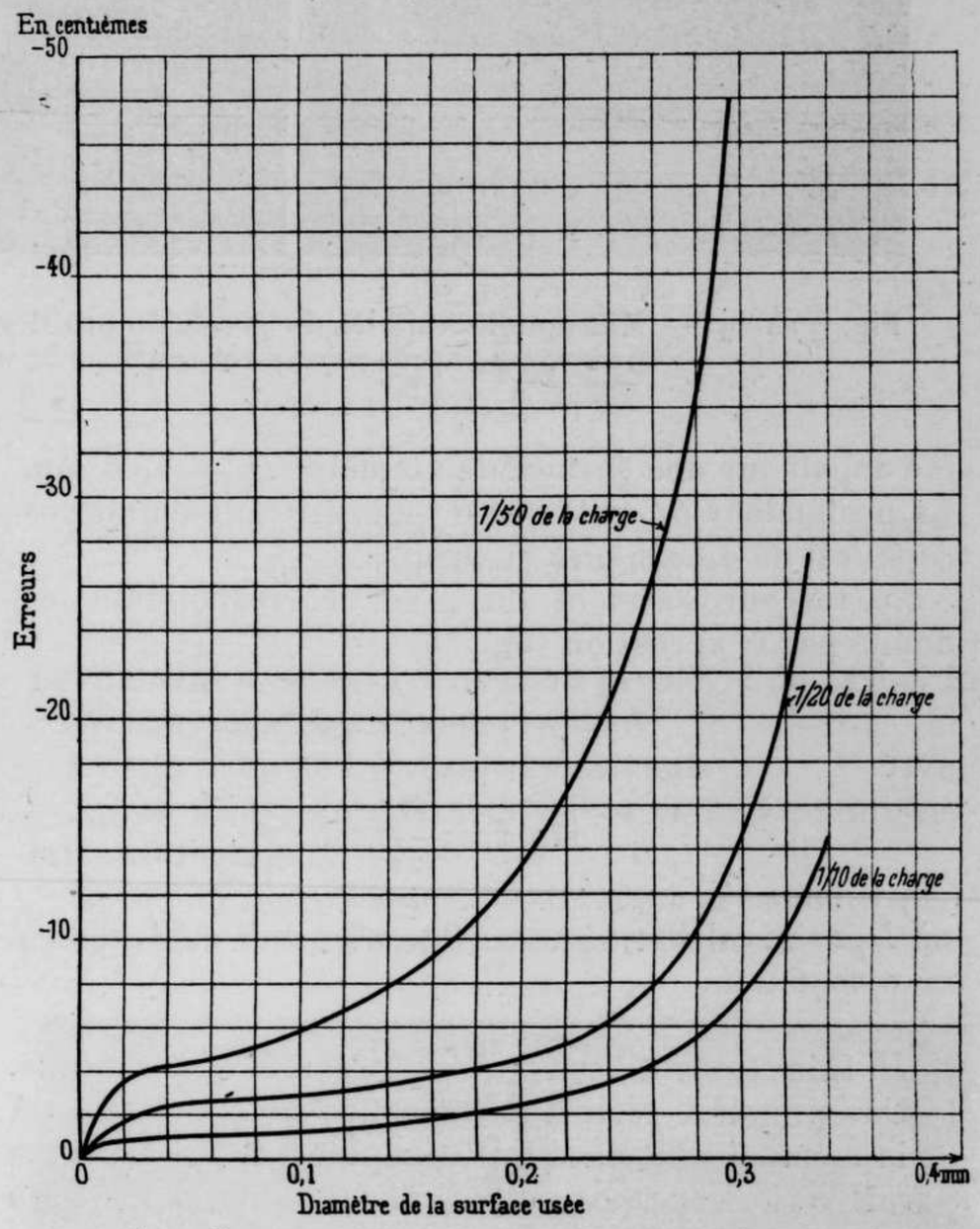


Fig. 26. — Courbes déduites de celles de la figure 25 montrant l'augmentation de l'erreur, en centièmes, du compteur monophasé BTR III en fonction du diamètre de la surface usée.

et pour les diamètres supérieurs à 0,2 mm elle est désastreuse. Il faut donc remplacer les organes de pivotage dès que le diamètre de l'usure dépasse 0,1 mm.

Nous avons examiné plusieurs dizaines de compteurs déposés. D'après le nombre de kilowatts-heures enregistrés et la constante du compteur, on détermine facilement le nombre de tours effectués par le disque. L'état des organes de pivotage est en général variable pour le même nombre de tours. Citons deux cas extrêmes : celui d'un compteur dont les organes de pivotage ont été détériorés après 300 000 tours avec $D_p = D_s = 0{,}05$ mm et celui d'un compteur ayant effectué $3{,}5 \times 10^6$ tours et dont les organes de pivotage sont restés intacts. En général, les compteurs qui ont effectué 2×10^6 tours ont les organes de pivotage abîmés. Les figures 27 à 29 représentant les microphо-

tographies des organes de pivotage d'un compteur monophasé 115 v, 5 a. La minuterie du compteur indiquait 4 230 kw-h et, la constante étant de 0,24 w-h par tour, le disque a en tout effectué 1 700 000 tours environ. Le compteur retardait de 2 pour 100 au 1/10 de sa charge nominale. Le rubis de ce compteur (fig. 29) a

Fig. 27 à 29. — Microphotographies du pivot, de profil et en bout, et du rubis d'un compteur monophasé BTR III, 115 v, 5 a, après $1{,}7 \times 10^6$ tours ($r = 0{,}33$ mm ; $D_p = 0{,}14$ mm ; $D_s = 0{,}15$ mm).

été dépoli sur une surface de diamètre $D_s = 0{,}15$ mm. La profondeur de cette usure (mesure faite au microscope) est de 0,0035 mm environ.

Le raccourcissement du pivot correspondant est donné par l'expression (fig. 30)

$$h = r\,(1 - \cos\alpha),$$

avec

$$\sin\alpha = \frac{D_p}{2r}$$

où D_p est égal à 0,14 mm (fig. 28); r, à 0,33, d'où $h = 0{,}0076$ mm.

VI. **Résultats d'essais.** — 1. Première série d'essais. — Une première série d'essais a porté sur 100 rubis A de la même livraison et sur 100 pivots A de la même livraison. Les organes ont été placés dans la machine et soumis à un régime de 800 t : mn. Les examens microscopiques ont été faits après 1, 2, 3, 5 et 10 millions de tours. Voici les usures moyennes relevées :

Nombre de tours.	D_p mm	D_s mm
10^6	0,121	0,101
2×10^6	0,159	0,156
3×10^6	0,183	0,184
5×10^6	0,212	0,204
10×10^6	0,265	0,259

Nous avons noté en même temps l'état de tous les organes. Un certain nombre de rubis et de pivots restaient intacts à chaque examen. Les résultats sont les suivants :

Nombre de tours.	Nombre de pivots intacts en centièmes	Nombre de rubis intacts en centièmes
10^6	17	43
2×10^6	6	28
3×10^6	2	27
5×10^6	0	26
10×10^6	0	12

Ces premiers essais montrent qu'après 1 million de tours 83 pour 100 de pivots et 57 pour 100 de rubis ont été détériorés. On peut donc juger de la qualité des pierres et des pivots de qualité ordinaire après un million de tours. Dans les essais qui ont suivi, nous avons fait deux examens microscopiques par essai : le premier après 100 000 tours, le deuxième après 1 million de tours en notant, dans les deux cas, les usures des organes de pivotage et en déduisant l'usure moyenne.

2. Comparaison entre des pivots de fabrication différente. — Nous avons comparé entre eux les pivots suivants : Pivots A, $r = 0{,}36$ mm ; pivots B, $r = 0{,}48$ mm ; pivots C, $r = 0{,}5$ mm ; pivots D, $r = 0{,}41$ mm. Les pivots (25 de chaque type) ont été essayés avec des rubis de la même livraison et d'un rayon de courbure $R = 1{,}6$ mm. Les mesures au microscope après 100 000 tours et 1 million de tours ont permis d'établir les moyennes indiquées dans le tableau I.

Tableau I. — *Résultats de comparaison entre des pivots de fabrication différente.*

Type de pivots	Après 100 000 tours		Après 10^6 tours	
	D_p mm	D_s mm	D_p mm	D_s mm
Pivots A	0,041	0,058	0,214	0,247
Pivots B	0,090	0,078	0,210	0,195
Pivots C	0,067	0,072	0,176	0,212
Pivots D	0,043	0,064	0,156	0,198

Les différents pivots sont sensiblement de la même qualité. Toutefois, les meilleurs résultats sont obtenus avec les pivots D qui ont donné un diamètre d'usure moyenne inférieur à celui des autres pivots.

3. Comparaison entre les rubis A, rubis et saphirs X et les pierres repolies. — Nous avons comparé entre elles

les pierres suivantes. Pierres neuves : Rubis A, $R = 1{,}55$ mm;

Saphirs et rubis X, $R = 1{,}4$ mm;

Pierres repolies par les Etablissement X : rubis A; saphirs portant une estampille a; pierres sombres; rubis portant l'estampille b; rubis portant l'estampille c.

Les rayons de courbure R des pierres repolies varient entre 1 mm et 1,4 mm. Le poli, examiné au microscope, a été trouvé identique à celui des pierres neuves.

Les pierres ont été essayées avec des pivots A de la même livraison et d'un rayon de courbure r égal à 0,35 mm. Les mesures au microscope après 100 000 tours et 1 million de tours ont permis d'établir les moyennes comprises dans le tableau II.

TABLEAU II. — *Résultats de comparaison entre diverses catégories de rubis, de saphirs et d'autres pierres.*

NATURE DES PIERRES	Après 100 000 tours		Après 10^6 tours	
	D_p mm	D_s mm	D_p mm	D_s mm
Rubis A, neufs	0,091	0,079	0,157	0,173
Saphirs X, neufs.....	0,091	0,082	0,155	0,153
Rubis X, neufs	0,113	0,12	0,206	0,218
Rubis A, repolis. ...	0,094	0,072	0,186	0,136
Saphirs a, repolis....	0,094	0,078	0,176	0,182
Pierres sombres, repolies.....	0,038	0,038	0,202	0,198
Rubis b, repolis ...	0,114	0,078	0,278	0,246
Rubis c, repolis.....	0,082	0,11	0,168	0,194

Les rubis A et les saphirs X sont sensiblement de la même qualité. Les rubis X sont d'une qualité moins bonne.

Parmi les pierres repolies, les rubis A sont aussi bons que les rubis A neufs. Ensuite viennent les pierres repolies portant les estampilles c et a. Les pierres sombres et les rubis b donnent de moins bons résultats; ceci ne doit pas être attribué à un mauvais repolissage, mais plutôt à la qualité inférieure de ces pierres.

Remarque. — On se trouve souvent en présence de compteurs qui ont fonctionné plusieurs années sans que les pierres et les pivots aient été détériorés. On est alors porté à croire que les anciens saphirs et rubis étaient d'une qualité supérieure à celle des pierres fabriquées actuellement. Pourtant l'essai des anciennes pierres repolies n'a pas donné un résultat meilleur que celui des pierres récentes. D'autre part, à chaque essai de pierres neuves on trouve quelques unités qui résistent à plusieurs millions de tours, et, certainement, parmi les compteurs posés actuellement, on en trouvera quelques-uns dont les organes de pivotage résisteront très longtemps.

4. ESSAI D'UN DIAMANT. — Le diamant (fig. 31), de dimensions plus faibles qu'une pierre ordinaire, est serti dans une pièce en laiton dont les bords forment cuvette. Le profil de cette cuvette est représenté par l'empreinte (fig. 32) qui permet aussi de déterminer le rayon de courbure R du fond en diamant, égal à 3,7 mm.

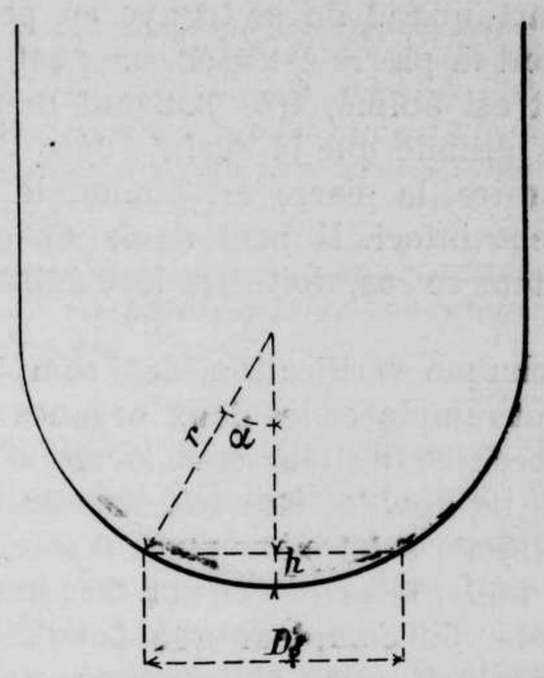


Fig. 30. – Construction géométrique en vue du calcul du raccourcissement du pivot.

Le diamant a été essayé avec un pivot A d'un rayon de courbure r égal à 0,35 mm.

L'essai a donné les résultats suivants :

Après 25×10^6 tours, le pivot et le diamant restaient intacts;

Après 30×10^6 tours, le diamant présentait quelques traces d'usure à peine perceptibles au microscope;

Fig. 31 et 32. — Microphotographies du diamant essayé serti dans une pièce en laiton formant cuvette et du profil de cette cuvette; $r = 0{,}36$ mm.

le pivot était légèrement détérioré avec $D_p = 0{,}08$ mm.

Ces résultats montrent que, pratiquement, on peut considérer le diamant comme inusable.

Remarque. — Nous poursuivons actuellement nos recherches. Les résultats donnés par les premiers essais ne sont ni complets ni définitifs. Ces essais ont été faits avec les organes de pivotage non lubrifiés. Certains constructeurs sont d'avis de laisser à sec les pierres et d'autres, de les lubrifier. Pour élucider ce problème, nous faisons actuellement de nombreux essais à l'aide de notre machine.

VII. **Entretien et réparation des organes de pivotage.** — 1. REMPLACEMENT DES ORGANES DE PIVOTAGE.

— Nous avons constaté qu'un examen à la pointe est presque toujours suffisant pour découvrir l'usure de la pierre. L'examen du pivot est plus difficile ; une grosse loupe n'est suffisante que pour les pivots très aplatis ; dans les autres cas il faut employer un microscope.

D'autre part, quand on se trouve en présence d'un compteur dont la pierre est usée, on peut être certain que le pivot est abîmé, très souvent même sur une surface plus grande que la surface usée de la pierre. Si, au contraire, la pierre est bonne, le pivot n'est pas forcément intact. Il peut avoir un commencent d'usure et, dans ce cas, doit être immédiatement remplacé.

Donc, à chaque vérification des compteurs sur le réseau, il faut remplacer les deux organes de pivotage sans se préoccuper de leur état. Même si les organes sont intacts, ils doivent être soigneusement nettoyés, ce qui est difficile à faire sur place. Un remplacement de la pierre seule, le pivot restant défectueux, ne corrige la courbe du compteur que pendant un temps relativement court : quelques semaines de fonctionnement suffisent pour abîmer la pierre. Il est donc nécessaire d'avoir tous les compteurs munis de pivots interchangeables. Nous avons vu précédemment que les organes de pivotage doivent être changés quand le diamètre de l'usure devient supérieur à 0,1 mm. Pour les pivots et les pierres de la qualité ordinaire, employés dans les petits compteurs d'éclairage, les visites doivent être faites tous les deux ans environ. Les organes remplacés doivent être ensuite soigneusement nettoyés et examinés par une personne ayant à sa disposition, en plus de la pointe et de la loupe, un microscope. La vérification au microscope ne présente aucune difficulté : avec des supports de pierres et de pivots spécialement prévus pour cet usage, la mise au point est automatique et on peut examiner des centaines d'unités par heure. On sépare ainsi facilement les organes détériorés des organes intacts.

2. Réparation des pierres. — La réparation d'une pierre usée consiste en un repolissage qui s'effectue de la même façon que le polissage d'une pierre neuve. Le diamètre de la surface usée d'une pierre peut atteindre 0,4 mm, mais la profondeur d'une telle usure dépasse rarement 0,01 mm. La figure 33 représente (cas exceptionnel) une pierre usée sur une profondeur de 0,012 mm. En général, une pierre changée à temps présente une usure de 0,002 à 0,003 mm de profondeur. Il suffit donc d'enlever une couche de même épaisseur sur toute la surface hémisphérique pour remettre la pierre à neuf. L'épaisseur d'une pierre moyenne est en général supérieure à 1 mm et le repolissage peut être fait plusieurs fois. Toutefois, il faut attirer l'attention des repolisseurs sur la nécessité d'enlever une couche uniforme sur toute la surface de la concavité hémisphérique. Si on n'enlève qu'une couche au voisinage de l'usure, le rayon de courbure de la concavité diminue et, après plusieurs repolissages, peut devenir insuffisant.

Les essais que nous avons faits sur les pierres repolies par les Etablissements X ont donné toute satisfaction.

Fig. 33. — Microphotographie d'une pierre usée sur une profondeur de 0,012 mm.

3. Réparation des pivots. — Habituellement, la réparation des pivots est faite de la facon suivante : les pivots sont placés sur un tour et travaillés à la main.

La forme et le poli des pivots dépendent surtout de l'habileté de l'ouvrier ; mais dans la plupart des cas, ce mode de réparation donne de mauvais résultats. Nous avons constaté que 60 pour 100 des pivots réparés à la main présentent des surfaces hémisphériques irrégulières (fig. 34). Le poli aussi est en général insuffisant.

Pour effectuer la réparation des pivots d'une façon correcte, il faut employer une machine, analogue à celle employée par les constructeurs, qui permet de refaire les pivots rapidement en leur donnant une surface hémisphérique régulière d'un rayon de courbure voisin de 0,5 mm.

Fig. 34. — Microphotographie d'un pivot réparé à la main et en montrant les irrégularités.

G. Grunberg,
Ingénieur E. S. E., ingénieur au laboratoire des compteurs de la Compagnie d'Electricité de l'Ouest parisien (Ouest-Lumière).

Un nouveau régulateur de température

L'auteur rappelle d'abord le principe de la régulation la plus couramment employée dans les petits appareils chauffés électriquement : la rupture du courant est assurée par un dispositif thermométrique tel qu'une lame bimétallique, lorsque la température atteint une certaine valeur. Ce système présente l'inconvénient d'occasionner des variations parfois importantes de la température. La solution qui fait l'objet de cet article consiste à placer près du thermostat bimétallique une petite résistance auxiliaire montée en série dans le circuit principal ; on obtient ainsi une série d'interruptions de courant très rapprochées et un réglage analogue à celui des régulateurs à action continue. L'auteur expose la théorie de ce nouveau dispositif, en donne un exemple numérique de calcul et en indique ensuite quelques applications, en précisant les modifications à apporter à la solution de principe, suivant l'application envisagée.

I. **Introduction.** — Dans un grand nombre d'appareils ménagers chauffés électriquement, la température est réglée au moyen d'une simple lame bimétallique, dite « bilame », dont une extrémité est encastrée et l'autre, mobile. Celle-ci vient en contact avec une pièce métallique fixe, l'ensemble formant interrupteur pour le courant de chauffage (fig. 1). Lorsque la température atteint une certaine limite, la lame s'étant courbée, le contact est rompu et le courant supprimé.

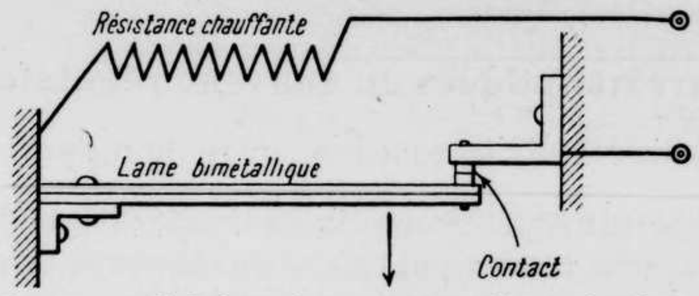


Fig. 1. — Schéma de montage d'un régulateur de température à lame bimétallique.

Il est rétabli lorsque, la température ayant baissé, les pièces reviennent à nouveau en contact. On sait que les deux éléments métalliques constituant la lame sont minces, à coefficient de dilatation différent et sont soudés sur toute leur longueur. Il n'est pas besoin d'insister sur le mode de fonctionnement de cet appareil.

Lorsque le courant de chauffage est plus important, on peut utiliser un relais. L'extrémité de la lame oscille entre deux contacts. Le relais comprend, par exemple, deux électroaimants commandant le basculement dans un sens ou dans l'autre d'un interrupteur à rupture et fermeture brusques. Chaque contact de la lame bimétallique correspond à un électroaimant.

Parfois, dans certaines couveuses par exemple, un dispositif thermométrique plus puissant, basé sur la dilatation d'un liquide ou d'une vapeur, actionne, après amplification mécanique du déplacement, un interrupteur à rupture brusque fonctionnant entre deux températures déterminées.

Le mode de réglage dont nous venons de voir quelques exemples s'appelle réglage par « tout ou rien ». Le dispositif thermométrique agit sur un simple interrupteur, directement ou par relais. Son extrême simplicité en a généralisé l'emploi pour les appareils de petite dimension ou de petite puissance. Il n'est pas sans présenter des inconvénients qui apparaissent lorsqu'on a besoin d'une certaine précision. Les oscillations de température peuvent être importantes s'il existe des retards de transmission entre l'endroit où la chaleur est produite et l'endroit où elle est utilisée, retards dus à l'inertie thermique et à la conductibilité thermique imparfaite des milieux à travers lesquels la chaleur est transmise. Il arrivera, par exemple, qu'à l'état d'équilibre, la température de la résistance sera notablement plus élevée que celle de l'enceinte à chauffer, la température décroissant régulièrement dans les milieux intermédiaires. Lorsque le courant est coupé, un état d'équilibre inverse tendra à s'établir, la température de la résistance diminuant, tandis que celle de l'enceinte continue à monter, passe par un maximum pour décroître ensuite jusqu'à nouvelle fermeture du circuit de chauffe. La température continuera alors à décroître jusqu'à un minimum, pour augmenter ensuite. L'écart entre le maximum et le minimum sera parfois notablement plus élevé que l'écart de réglage du thermostat. Dans une couveuse électrique avec réservoir d'eau chaude de 15 litres, chauffée par une résistance, nous avons relevé une durée de trois heures entre deux interruptions successives et une variation de température de deux degrés, alors que l'écart de réglage du thermostat était certainement inférieur au demi degré.

II. **Principe du nouveau régulateur.** — Notre système par tout ou rien n'est pas un véritable régulateur, mais un simple limiteur dans les deux sens. Un régulateur agit de façon continue. La quantité de chaleur fournie doit être fonction de la température à régler et croître lorsque celle-ci décroît. On peut profiter des inerties thermiques qui, tout à l'heure, étaient nuisibles, pour obtenir au moyen d'un simple interrupteur les avantages d'un bon régulateur continu. Imaginons un dispositif qui coupe et rétablisse le courant régulièrement et à une cadence suffisamment rapide pour que la température de l'enceinte n'ait pas le temps de varier sensiblement entre deux interruptions successives. Dans ces conditions, tout se passera comme si la chaleur Q fournie à l'appareil dans l'unité

de temps était réduite, en moyenne, dans le rapport de la durée t_1 de la période de chauffage à l'intervalle de temps $t_1 + t_2$ séparant deux interruptions successives, soit

$$Q = \frac{t_1}{t_1 + t_2} KRI^2.$$

Il suffira alors que le régulateur agisse sur les valeurs relatives de t_1 et de t_2 de telle façon que le rapport $\frac{t_1}{t_1 + t_2}$ soit une fonction continue de la température θ de l'enceinte et diminue lorsque celle-ci augmente.

On sait qu'un principe analogue est appliqué dans le régulateur de tension Tirrill.

Bien entendu, on suppose que les causes extérieures de variation agissent suffisamment lentement pour qu'on puisse considérer tout le système comme à l'état d'équilibre. Le problème de la compensation rapide d'une variation importante et brusque est différent de celui de la simple régulation statique.

On a pu réaliser ces conditions de façon extrêmement simple. La fonction de la rupture du circuit et du rétablissement du courant, à cadence rapide, a été confiée à une petite résistance auxiliaire placée près du thermostat, connectée en série dans le circuit de chauffe et suffisamment réduite pour ne pas modifier sensiblement la température de l'enceinte, tout en étant capable d'élever légèrement la température du thermostat.

La figure 2 représente schématiquement cette disposition. L'enceinte est figurée par un rectangle pointillé, à l'intérieur duquel se trouvent la résistance de chauffage 1 et la lame bimétallique 2. Cette dernière commande, par amplification mécanique, l'interrupteur à rupture brusque 3. La résistance auxiliaire 4 est connectée en série avec la résistance de chauffage. Le fonctionnement se comprend aisément. La masse calorifique du bilame étant faible, elle s'échauffera rapidement au-dessus de la température de l'enceinte, lorsque le courant sera établi. Lorsque ce dernier sera coupé, elle se refroidira également très vite. La cadence des ruptures est ainsi rendue rapide.

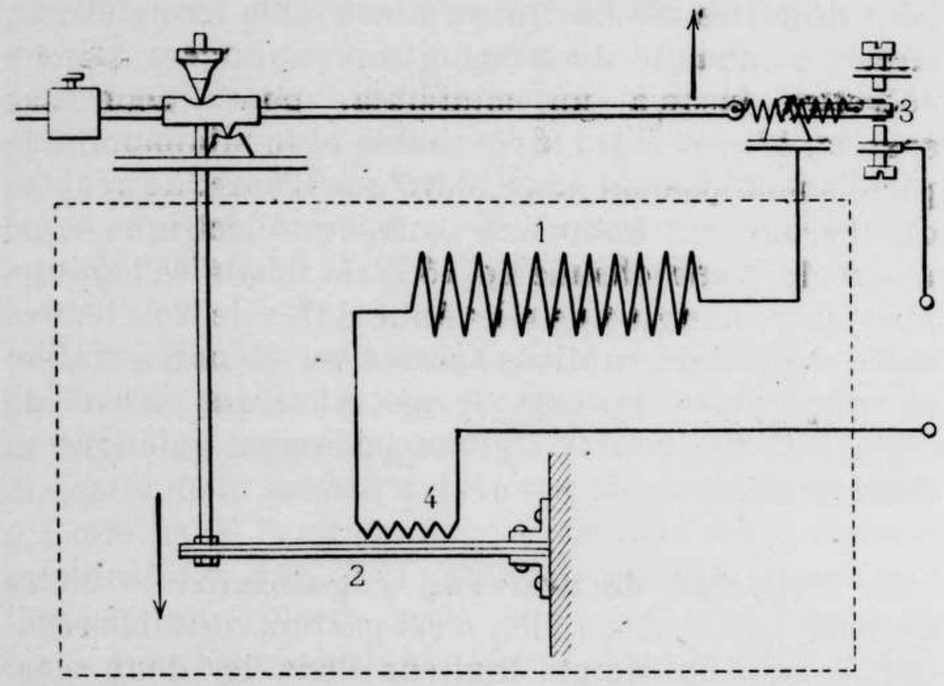


Fig. 2. — Schéma du nouveau régulateur de température : 1, résistance chauffante ; 2, lame bimétallique ; 3, interrupteur ; 4, résistance auxiliaire.

D'autre part, on conçoit que, lorsque la température de l'enceinte est très basse, la chaleur fournie par la résistance auxiliaire n'arrivera pas à élever la température de la lame bimétallique suffisamment pour lui faire interrompre le courant. Il n'y aura pas de période de rupture et le rapport $\frac{t_1}{t_1 + t_2}$ sera égal à l'unité ; l'effet de la résistance chauffante 1 sera alors maximum. Dans le sens inverse, si la température de l'enceinte est très élevée, la dilatation de la lame coupera le courant en permanence. L'action de la résistance chauffante sera nulle. Entre ces deux cas extrêmes, au moins entre les deux températures limites du régulateur que nous déterminerons plus loin, le rapport $\frac{t_1}{t_1 + t_2}$ variera d'une façon continue. Nous aurons donc réalisé les deux conditions indiquées plus haut comme désirables : succession rapide des ruptures et fermetures et variation continue dans le sens voulu du rapport $\frac{t_1}{t_1 + t_2}$.

III. **Caractéristiques du nouveau régulateur.** — Nous allons établir la relation entre le rapport $\frac{t_1}{t_1 + t_2}$ et la température θ_0. Soient θ_0 la température de l'enceinte ; θ_2 et θ_1 les températures du thermostat, respectivement au moment de la rupture et de la fermeture du courant ; I, l'intensité de ce courant ; R, la valeur de la petite résistance ; A, le coefficient de rayonnement du thermostat dans l'enceinte ; C, la capacité calorifique du thermostat.

1° *Période d'échauffement.* — La quantité de chaleur fournie par le courant au thermostat pendant le temps dt est égale à la somme de la chaleur emmagasinée dans cet appareil et de la chaleur qu'il perd par rayonnement dans le même temps, soit

$$kRI^2 dt = A(\theta - \theta_0)\, dt + C d\theta. \qquad (1)$$

En posant

$$\frac{kRI^2}{A} = a \quad \text{et} \quad \frac{C}{A} = b,$$

on a

$$(a - \theta + \theta_0)\, dt = b\, d\theta. \qquad (2)$$

On peut remarquer de suite que a est l'excès de température que prendrait le thermostat par rapport à l'enceinte au bout d'un temps suffisamment long.

La solution de cette équation est

$$\frac{t}{b} = K' - \log_e (a - \theta + \theta_0). \qquad (3)$$

La condition à la limite est que pour $t = o$, $\theta = \theta_1$, d'où

$$K' = \log_e (a - \theta_1 + \theta_0).$$

A la fin de la période d'échauffement on a $\theta = \theta_2$ pour $t = t_1$, d'où

$$\frac{t_1}{b} = \log_e (a - \theta_1 + \theta_0) - \log_e (a - \theta_2 + \theta_0). \quad (4)$$

2° *Période de refroidissement.* — De la même manière, on trouve, pour la période de refroidissement

$$\frac{t_2}{b} = \log_e (\theta_2 - \theta_0) - \log_e (\theta_1 - \theta_0). \quad (5)$$

et, enfin, pour le cycle complet

$$\frac{T}{b} = \frac{t_1 + t_2}{b} = \log_e (a - \theta_1 + \theta_0) - \log_e (a - \theta_2 + \theta_0) + \log_e (\theta_2 - \theta_0) - \log_e (\theta_1 - \theta_0). \quad (6)$$

3° *Rapport de réduction.* — Il est facile de voir que tout se passe comme si la quantité de chaleur fournie à l'enceinte par la résistance de chauffage principale était réduite dans la proportion

$$\alpha = \frac{t_1}{T}.$$

En vertu des formules (4) et (6), on a

$$\alpha = \frac{\log_e (a - \theta_1 + \theta_0) - \log_e (a - \theta_2 + \theta_0)}{\log_e (a - \theta_1 + \theta_0) - \log_e (a - \theta_2 + \theta_0) + \log_e (\theta_2 - \theta_0) - \log_e (\theta_1 - \theta_0)}. \quad (7)$$

Considérant la température moyenne

$$\theta_{moy} = \frac{\theta_2 + \theta_1}{2}$$

entre les deux températures de réglage, on posera

$$x = \frac{\theta_{moy} - \theta_0}{a}; \quad \varepsilon = \frac{\theta_2 - \theta_1}{a},$$

et la formule (7) deviendra

$$\alpha = \frac{\log_e \left[1 - \left(x - \frac{\varepsilon}{2}\right)\right] - \log_e \left[1 - \left(x + \frac{\varepsilon}{2}\right)\right]}{\log_e \left[1 - \left(x - \frac{\varepsilon}{2}\right)\right] - \log_e \left[1 - \left(x + \frac{\varepsilon}{2}\right)\right] + \log \left(x + \frac{\varepsilon}{2}\right) - \log \left(x - \frac{\varepsilon}{2}\right)}. \quad (8)$$

L'étude de cette formule conduit aux courbes de la figure 3 donnant, pour chaque valeur de ε, la courbe

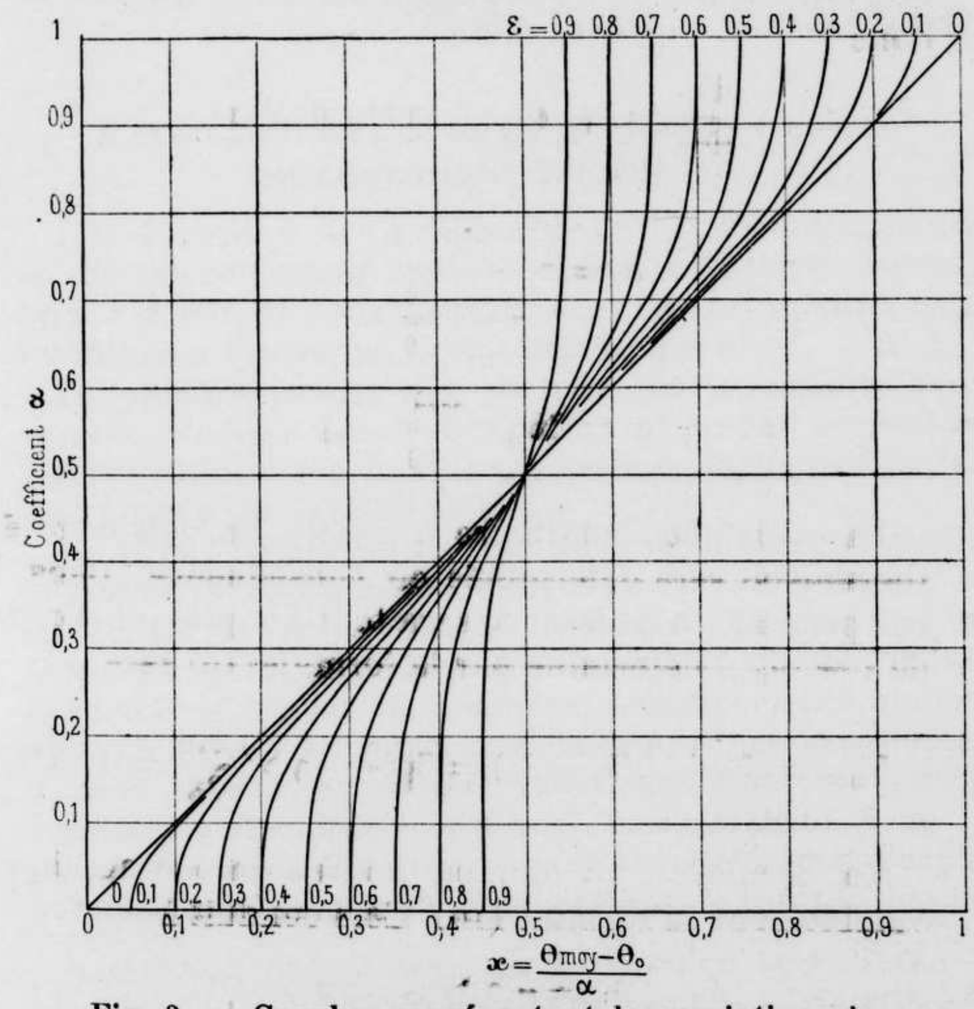


Fig. 3. — Courbes représentant les variations de α en fonction de x.

représentant le rapport de réduction α en fonction de la valeur de x, elle-même proportionnelle à l'écart entre la température θ_0 de l'enceinte et la température moyenne de réglage.

4° *Discussion.* — Un passage à la limite permet de calculer α pour $\varepsilon = o$. On a dans ce cas $\alpha = x$. D'autre part, pour $x = o,5$, $\alpha = o,5$, quel que soit ε. Toutes les courbes passent donc par le point $x = o,5$, $\alpha = o,5$.

On constate que, pour $\varepsilon = o,1$, la courbe se confond sensiblement avec la droite $\alpha = x$, sauf aux extrémités; que, pour $\varepsilon = o,2$ et $\varepsilon = o,3$, elle en diffère encore peu dans la partie moyenne. Donc, si le point de fonctionnement du régulateur se tient dans une région moyenne et si ε est petit, on peut, sans grande erreur, remplacer la formule (8) par la formule approchée

$$\alpha = x = \frac{\theta_{moy} - \theta_0}{a}. \quad (9)$$

L'étude de la formule (6) nous montre que la durée d'un cycle est d'autant plus petite que ε est plus petit.

α varie en sens inverse de θ_0, ce qui est conforme aux conditions d'une régulation correcte.

La limite supérieure de réglage est $\theta_0 = \theta_1$. A partir de cette valeur, le courant est toujours coupé. La limite inférieure est $\theta_0 = \theta_2 - a$ au-dessous de laquelle le courant n'est jamais interrompu : $\alpha = 1$, on a donc

$$\theta_2 - a < \theta_0 < \theta_1; \quad a > \theta_0 > \theta_2 - \theta_1.$$

Nous avons vu que a représente l'excès limite de

la température du thermostat sur celle de l'enceinte en supposant que le courant n'est pas coupé. L'emploi d'un thermostat sensible permettra de donner à $\theta_2 - \theta_1$, une valeur aussi petite que l'on voudra et le régulateur sera d'autant plus sensible que a sera plus petit.

A l'état d'équilibre, si W est la puissance prise par la résistance chauffante, αW représente la valeur moyenne de la puissance consommée par l'appareil, puissance égale elle-même à celle que l'appareil perd par rayonnement. On peut admettre, d'autre part, que cette puissance perdue est proportionnelle à la différence entre la température θ_0 de l'enceinte et la température extérieure θ_e, soit

$$\alpha W = K(\theta_0 - \theta_e).$$

Si nous sommes dans les conditions de validité de la formule (9), on a encore

$$\tilde{\alpha} = \frac{\theta_{moy} - \theta_0}{a},$$

d'où

$$\frac{K(\theta_0 - \theta_e)}{W} = \frac{\theta_{moy} - \theta_0}{a}.$$

De cette formule, on tire θ_0 en fonction de θ_e.

Posons $\frac{W}{K} = \tau$; on peut écrire

$$\theta_0 \left(\frac{1}{\tau} + \frac{1}{a}\right) = \frac{\theta_e}{\tau} + \frac{\theta_{moy}}{a}. \qquad (10)$$

Cette expression est remarquable par la signification de ses coefficients : τ représente la valeur limite de la différence $\theta_0 - \theta_e$ lorsque le courant n'est jamais interrompu et nous avons vu plus haut la signification de a. Si donc on bloquait le régulateur de façon que le courant ne soit jamais coupé, la température de l'enceinte atteindrait, à l'état d'équilibre, la valeur

$$\theta_0 = \theta_e + \tau,$$

et celle du thermostat

$$\theta_0 + a = \theta_e + \tau + a.$$

La qualité du régulateur sera bien définie par la dérivée

$$\frac{d\theta_0}{d\theta_e} = \frac{a}{a + \tau}. \qquad (11)$$

Le réglage sera d'autant plus précis que $\frac{a}{\tau}$ sera plus petit.

IV. **Exemple de calcul**. — Pour terminer cette étude théorique, nous donnerons un exemple de calcul d'un projet de régulateur destiné à un appareil existant. Supposons qu'il s'agisse d'une couveuse dont la température doive être maintenue à 39°C. Nous la munirons d'une résistance chauffante dans laquelle le courant pourra être réglé par un rhéostat extérieur et nous opérerons dans un appartement à température constante, soit à 20°C, par exemple. Nous constaterons, supposons-le, que la température utile, mesurée au contact des œufs est de 35°C à l'état d'équilibre, pour un puissance de 65 w dans la résistance.

Le coefficient K de perte par rayonnement sera donc de

$$K = \frac{W}{\theta_0 - \theta_e} = \frac{65}{35 - 20} = 4,33.$$

Pour 39°C, la puissance nécessaire sera de

$$4,33 \times (39 - 20) = 82,2 \text{ w}.$$

Pour nous tenir dans les conditions d'application de la formule (9), nous prendrons une résistance définitive de chauffage capable à peu près du double, soit une résistance de 165 w. On aura alors

$$\tau = \frac{W}{K} = \frac{165}{4,33} = 38°\text{C}.$$

Si donc on laissait cette nouvelle résistance en circuit permanent, la température de la couveuse monterait à

$$20 + 38 = 58°\text{C}.$$

Nous imposerons maintenant la condition que, pour une variation de 5° dans la température extérieure, la température de la couveuse ne varie que de 0,5°, donc

$$\frac{d\theta_0}{d\theta_e} = 0,1 \text{ et, en vertu de (11)},$$

$$a = \tau \frac{\frac{d\theta_0}{d\theta_e}}{1 - \frac{d\theta_0}{d\theta_e}}$$

$$a = 38 \times \frac{0,1}{0.9} = 4,2°\text{C}.$$

La résistance auxiliaire à placer au voisinage du thermostat sera déterminée en conséquence. Dans le cas présent, sa puissance sera tout au plus de l'ordre de 1 w. θ_{moy} déterminé par la formule (10) sera

$$\theta_{moy} = \theta_0 + \frac{a}{\tau}(\theta_0 - \theta_e) = 39 + 19 \times \frac{4,2}{38} = 41,1°\text{C}.$$

En prenant $\varepsilon = 0,2$, on pourra encore appliquer valablement la formule (10). Cela conduit à

$$\theta_2 - \theta_1 = 0,2 \times 4,2 = 0,84°\text{C}.$$

Ce système de régulateur a été appliqué par l'auteur pendant plusieurs années à une couveuse de 120 œufs. Il a toujours donné entière satisfaction avec des résultats conformes aux prévisions théoriques.

V. Applications du nouveau régulateur. — Le régulateur est applicable à peu près à tous les appareils chauffés électriquement. L'adjonction de la petite résistance auxiliaire à un régulateur existant permettra même souvent d'améliorer son fonctionnement.

La possibilité d'obtenir des variations de température extrêmement faibles le recommande particulièrement pour les étuves de laboratoire destinées aux études biologiques. Il pourra même convenir à certaines applications calorimétriques.

Son emploi peut être étendu aux armoires frigorifiques ou tous autres appareils où une température basse doit être maintenue constante. Il est facile de voir que, dans ce cas, le mode d'action de la résistance auxiliaire doit être inversé, le courant devant la parcourir lorsqu'il est coupé sur l'appareil et vice versa. Il suffit d'utiliser une résistance auxiliaire de valeur élevée, intercalée entre les bornes de l'interrupteur principal, cette résistance étant mise en court-circuit lorsqu'il y a du courant dans l'appareil et en circuit, lorsqu'il est interrompu ; le très faible courant qui passera alors dans l'appareil ne présentera pas en général d'inconvénients (fig. 4).

On pourra régler également un four à haute température. Dans ce cas, il ne sera pas toujours possible de placer la résistance auxiliaire dans le four. Si le régulateur du four est commandé par un couple thermo-électrique, on tournera la difficulté en faisant agir la résistance auxiliaire sur la soudure froide du couple, en prenant soin toutefois d'inverser son mode d'action comme il est indiqué pour les appareils frigorifiques.

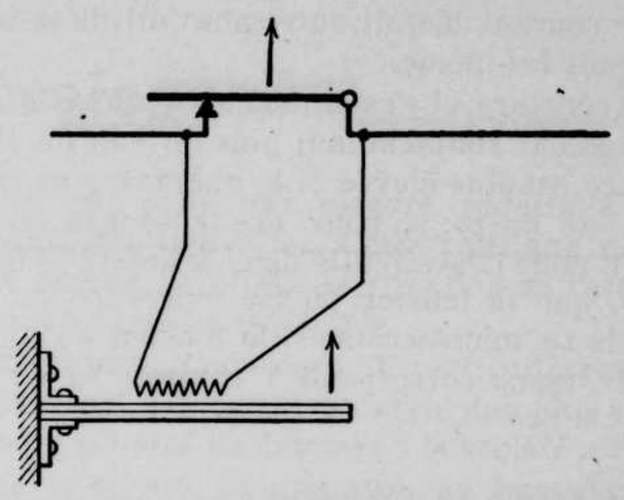


Fig. 4. — Schéma de montage du nouveau régulateur appliqué au réglage de la température des armoires frigorifiques.

La théorie s'applique entièrement à ces cas particuliers à la condition d'intervertir les rôles de la période de chauffe et de celle de refroidissement. On pourra en particulier utiliser les formules approchées (10) et (11).

Léon Dubar,
Ingénieur E. C. P et E. S. E.

Revues, analyses et informations

Extinction des arcs de grande longueur en courant alternatif (1).

1. Introduction. — Le rallumage ou l'extinction d'un arc en courant alternatif après le passage au zéro dépend, selon l'auteur, de deux facteurs dont l'un est relatif à l'arc lui-même et l'autre, au circuit extérieur seul.

Le premier facteur est mesuré par la rapidité avec laquelle le milieu dans lequel l'arc s'est produit reprend sa rigidité diélectrique initiale par suite de la disparition des ions formés par l'arc lui-même.

Le second facteur est fonction de la rapidité avec laquelle la tension est appliquée aux extrémités de l'arc qui vient de s'éteindre. Sa détermination nécessite l'intervention de caractéristiques autres que le courant, la tension, la fréquence et le facteur de puissance. Les recherches qui ont été exécutées à ce sujet, confirmées par les expériences d'autres auteurs, ont montré que l'extinction d'un arc de puissance déterminée dépendait considérablement de la nature du circuit d'essais, ce que la théorie permet d'expliquer, ainsi que le montre l'auteur dans le présent article.

2. Arcs de grande longueur en courant alternatif. — L'auteur définit ainsi les arcs dans lesquels la rigidité diélectrique est principalement rétablie, pendant l'extinction, dans la partie éloignée de la cathode.

Dans cet espace qui a été ionisé par l'arc, les ions disparaissent soit par recombinaison avec les ions de signe opposé, soit par entraînement dû à un soufflage magnétique ou mécanique, tel qu'un jet d'air.

Si cet espace doit conserver sa conductibilité, ces pertes d'ions doivent être compensées par un agent d'ionisation. Bien que la nature des agents d'ionisation ne soit pas bien connue, on peut affirmer que ceux d'entre eux capables de produire des ions, assez rapidement pour remédier à l'effet des pertes, dépendent directement du champ électrique appliqué. Leur intensité varie comme celle de ce champ. Si le gradient de potentiel est maintenu, la conductibilité de l'espace se conserve ; elle diminuera ou augmentera au contraire avec le gradient appliqué. L'intensité de ces agents d'ionisation dépend non seulement de celle du champ électrique appliqué, mais aussi de l'état d'ionisation de l'espace considéré ; en général, elle croît avec le degré d'ionisation pour un gradient de potentiel donné. Donc, pour compenser les pertes, il faudra appliquer un gradient de potentiel d'autant plus grand que ce degré est petit. Pour un arc de grande longueur, en courant alternatif, l'ionisation diminue après le passage par zéro de l'intensité du courant et le gradient à appliquer augmente ; si celui appliqué est inférieur à celui nécessaire dans ces conditions, l'espace perd sa conductibilité et l'arc s'éteint. Cependant, si à un moment donné le gradient appliqué égale ou dépasse celui nécessaire, la conductibilité cesse de diminuer et l'arc ne s'éteint pas.

Lorsque le courant est constant, l'expérience montre que la section de l'arc et la densité des ions croissent avec ce courant. En courant alternatif cependant, la section de l'arc

(1) J. Slepian, *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1930, t. xlix, p. 310-314, 3 500 mots, 4 figures.

n'est pas celle qui correspond au courant présent, mais dépend du courant pendant le moment précédent, du fait que c'est précisément ce dernier qui a provoqué l'ionisation. Il en résulte qu'au moment où le courant s'annule, la section de l'arc, c'est-à-dire celle de la zone très fortement ionisée, n'est pas nulle; sa valeur dépend de la vitesse avec laquelle le courant décroît, autrement dit, de la fréquence et de ce courant lui-même.

On peut conclure, et c'est un fait bien connu, que les arcs de grande longueur sont d'autant plus difficiles à éteindre que la fréquence est plus élevée et le courant, plus intense. A la fréquence de 60 p : s, pour des courants de l'ordre de 1 000 A et pour des circuits dans lesquels le temps nécessaire pour que la tension puisse reprendre sa valeur normale est de 10 microsecondes, la tension de l'arc qui peut être interrompue correspond à environ 50 v : cm de longueur.

3. Amélioration de l'extinction de l'arc. — En obligeant l'arc à passer par des orifices circulaires ou des fentes pratiqués dans des plaques isolantes, la recombinaison des ions est plus rapide que quand l'arc est libre; de ce fait la rigidité diélectrique de l'espace reprend plus rapidement sa valeur normale; l'extinction de l'arc se trouve facilitée.

Les orifices circulaires sont pratiquement assez peu utilisés en raison de la difficulté d'obliger l'arc à les traverser et de la rapide destruction de la matière isolante; les fentes peuvent plus facilement trouver leur application.

Dans les fusibles à expulsion il est tiré parti du phénomène exposé ci-dessus et des arcs intenses peuvent être coupés sur des longueurs assez réduites; il faut cependant remarquer que, dans ce cas, le jet de gaz produit par la décomposition d'une partie de la matière entourant le fusible joue un rôle important en entraînant de nombreux ions au dehors de la zone occupée par l'arc. Des expériences effectuées à l'aide d'un jet d'air traversant un arc longitudinalement ont confirmé ce résultat. D'ailleurs, le jet de gaz a aussi pour effet de remplacer des gaz très chauds par d'autres à une température plus basse et on sait que la recombinaison des ions s'effectue alors beaucoup plus rapidement.

4. Rupture dans l'huile. — L'arc se produit ici dans les gaz dus à la décomposition de l'huile, ceux-ci formant une bulle d'autant plus volumineuse que le courant est lui-même plus intense. Toutefois, la tension donnant lieu au courant qui peut être interrompu est, à longueur égale, beaucoup plus élevée que pour les arcs à l'air libre; elle atteint plusieurs centaines de volts par centimètre.

Parmi les suggestions qui ont été faites par l'auteur pour expliquer la « déionisation » plus rapide, dans ce cas, de l'espace occupé par l'arc, certaines ont dû être abandonnées; mais il en est qui se sont révélées exactes. La première de celles-ci est que des particules charbonneuses, provenant de la décomposition de l'huile, flottent dans la bulle gazeuse et facilitent la recombinaison des ions. Une autre, dont l'importance a été reconnue considérable, est que cette décomposition produit un mouvement intense de gaz relativement froids. D'après l'auteur, c'est là que résiderait le secret de l'interrupteur dans l'huile, c'est-à-dire l'explication de son pouvoir de rupture très élevé. D'après lui, l'interrupteur dans l'huile ne serait pas autre chose qu'un interrupteur à soufflage de l'arc par un filet gazeux énergique, le gaz provenant de la décomposition de l'huile.

Il convient de noter que cette hypothèse conduit à des résultats entièrement opposés à ceux qu'on cherche à obtenir dans la technique. En particulier, la décomposition de l'huile n'apparaît plus comme un inconvénient devant être combattu. La vitesse de formation des gaz, au lieu d'être diminuée, doit, au contraire, être accrue si possible. L'auteur rappelle à ce propos que des liquides plus volatils que l'huile isolante ordinaire sont utilisés avec grand succès dans certains types de coupe-circuit.

L'action du champ magnétique qui concourt au soufflage de l'arc, surtout pour les courants très intenses, est généralement expliquée par le fait que l'arc est déplacé et qu'il atteint les couches d'huile plus froides que la bulle gazeuse centrale. M. Slepian signale que, d'après le calcul, les forces en jeu ne peuvent provoquer un tel déplacement de l'arc dans un liquide aussi dense que l'huile; il croit que le déplacement se fait seulement dans la bulle gazeuse, l'arc venant toucher la paroi formée par l'huile. Il en résulte, dit-il, une nouvelle formation de gaz frais qui viennent s'ajouter aux autres, brasser l'arc et diminuer l'ionisation de l'espace.

Si la théorie du soufflage de l'arc dans l'huile par le gaz produit est exacte, tout dispositif empêchant les gaz de s'éloigner de l'arc doit améliorer la rupture. Des expériences ont été faites dans ce sens avec deux interrupteurs de construction courante et de même type. Avec le premier appareil, utilisé tel quel, une course de 21,5 cm entre contacts avec une coupure à deux arcs en série permettait de couper un courant de 3 500 A sous 7 620 v. La presque totalité de la longueur de rupture (40,5 cm) était utilisée à la coupure complète, ce qui correspondait à un gradient de 188 v : cm.

Dans le second interrupteur, des plaques en terre poreuse percées d'un trou central de 1,9 cm de diamètre furent disposées sur le trajet des deux arcs, les électrodes mobiles se déplaçant dans ces trous. Dans ces conditions, le liquide étant immobilisé, il en résultait une production plus rapide des gaz qui étaient alors lancés directement dans l'espace occupé par l'arc. Le résultat fut que, pour les mêmes caractéristiques de courant, l'extinction a été obtenue avec une longueur totale de 16 cm, c'est-à-dire pour un gradient de 475 v : cm, soit plus de deux fois supérieur à celui du premier cas.

5. Amélioration de la répartition du champ électrostatique dans les interrupteurs. — L'auteur fait remarquer, en terminant, que, si le gradient de potentiel est sensiblement uniforme dans l'arc, il se produit, au contraire, lorsque le courant passe par zéro, une distorsion très sensible de ce gradient. Dans le premier cas, ce gradient est dû à la résistance relativement uniforme de l'arc; dans le deuxième cas, il résulte du champ électrostatique produit par les électrodes et, dans la plupart des modèles d'interrupteurs utilisés, ce champ est tel que le gradient de potentiel est loin d'être uniforme, ce qui provoque une réduction de la tension susceptible d'être coupée sur une longueur déterminée. On aura donc avantage, pour faciliter l'extinction de l'arc, à étudier des dispositifs appropriés aux interrupteurs actuels et ayant pour effet d'uniformiser le champ électrostatique produit par les électrodes. — B. E.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Union d'Electricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 9 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 275 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 3, rue de Messine, nous extrayons les renseignements suivants :

La puissance totale demandée par la clientèle est passée de 306 000 kw en 1928 (1) à 325 000 kw en 1929. Quant à l'énergie totale distribuée au réseau, elle a été de 817 millions 210 000 kw-h en 1928 et de 1 004 975 000 kw-h en 1929. La fraction de cette énergie qui a été achetée à des fournisseurs extérieurs fut de 37 918 000 kw-h en 1928 et de 119 354 000 kw-h en 1929.

Les fournitures qui ont été faites à la société en 1929 se décomposent ainsi :

20 095 000 kw-h en provenance des usines d'incinération d'ordures ménagères de la Ville de Paris, exploitées par la Société pour le Traitement industriel des Résidus urbains;

99 259 000 kw-h fournis par l'Union hydroélectrique, en provenance de son usine d'Eguzon et de l'usine de Coindre, appartenant à la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans qui en a confié l'exploitation à cette filiale commune. La majeure partie de cette énergie est, après régularisation, rétrocédée à la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans.

L'énergie absorbée par les secteurs de la région parisienne est passée de 544 000 000 kw-h en 1928 à 638 millions de kilowatts-heures en 1929.

L'accroissement des fournitures d'énergie, par rapport à l'année 1928, a été de près de 23 pour 100 dans l'ensemble, et de 17,3 pour 100 pour les secteurs de la région parisienne. Les services de transports en commun que la société alimente ont marqué un très sensible progrès.

Il est à remarquer que les secteurs de la région parisienne continuent à former la clientèle la plus importante de la société.

Le prix moyen du charbon a été de 172,42 fr contre 156,56 fr en 1928, en hausse sensible.

Les résultats très satisfaisants de l'exercice 1929 permettent d'augmenter le dividende qui passe de 11 pour 100 en 1928 à 12 pour 100 en 1929.

Il y a lieu d'observer que les 200 000 actions O, libérées le 31 décembre 1928, recevront l'intégralité du dividende de 12 pour 100 et que les 100 000 actions P, émises avec jouissance du 1er janvier 1929, participeront également à la répartition des bénéfices. Le dividende total s'élèvera à 30 625 000 fr contre 25 250 000 fr pour l'exercice 1928.

Cependant, la société poursuit la même politique de prudence, dotant largement ses fonds de prévoyance et ses fonds d'amortissement. Elle peut, de la sorte, poursuivre le développement de ses installations, en même temps que le rajeunissement de leurs parties les plus anciennes, en ne faisant appel que dans une mesure réduite à des ressources financières nouvelles. Cette politique contribue à assurer une grande stabilité à la situation de l'affaire, tout en maintenant à l'aise sa trésorerie.

Des circonstances nouvelles, et particulièrement heureuses, conduisent à donner une impulsion plus vigoureuse au programme général de travaux : la société a conclu, en collaboration avec un groupe ami, un important contrat avec la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité. Aux termes de ce contrat, à partir du 1er janvier 1930, et pour une durée de vingt et un ans, la société est conjointement chargée de fournir, pour sa part, la moitié de l'énergie nécessaire à l'alimentation de Paris, en même temps que de gérer les usines génératrices de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité.

Elle aura donc à reporter, par anticipation, sur ses propres usines une partie des efforts d'extension qui auraient été poursuivis par ladite compagnie pour accroître ses moyens de production.

L'Union d'Electricité a continué les travaux de construction de sa nouvelle usine de Vitry-Sud. Favorisés par le temps, ils se sont développés d'une manière satisfaisante, et on compte mettre en marche la première tranche de 100 000 kw dès la fin de cette année.

En raison des circonstances ci-dessus relatées, il a été commandé la plus grande partie du matériel d'une deuxième tranche identique à la première.

Simultanément, la société a entrepris la transformation de la première chaufferie de Gennevilliers. Cette opération s'étendra sur quatre exercices; elle procurera, entre autres avantages, un supplément très appréciable de puissance disponible.

En ce qui concerne le réseau de distribution et les sous-stations, la société a entrepris la pose des feeders à 60 000 v destinés à relier l'usine de Vitry-Sud au poste de Villejuif. Ce poste, mis en service au mois d'octobre dernier, est le point d'entrée sur le réseau de l'énergie hydroélectrique en provenance d'Eguzon et de Coindre; il sera également l'aboutissement des lignes à 220 000 v qui transmettront à Paris l'énergie du Massif central. Relié, d'autre part, avec les usines thermiques de la société et celles de la Compagnie parisienne de Distribution d'Electricité, ce poste constituera l'un des principaux organes de répartition de l'énergie électrique pour toute la région parisienne.

Afin de réserver dans l'alimentation de la région parisienne une part progressivement croissante à l'énergie hydraulique, la société a traité une importante fourniture avec la Société des Forces motrices de la Truyère, pour le compte de l'agglomération parisienne totale. Cette fourniture complète, en ce qui la concerne, celles qu'elle s'est assurées exclusivement en provenance de l'usine d'Eguzon de l'Union hydroélectrique et de l'usine de Coindre de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans. Il convient d'envisager aujourd'hui une alimentation ultérieure en provenance du bassin du Rhône (Alpes et Jura). Ce

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 26 octobre 1929, t. XXVI, p. 677.

bassin jouit en effet d'un régime sensiblement complémentaire de celui du Massif central.

Ces vues d'un avenir un peu plus lointain ont conduit l'Union d'Electricité à participer à une société d'études, en vue de la création de la Compagnie nationale du Rhône. Elles lui ont fait également prendre part, sur l'invitation d'un important groupe ami, à la création de la Société des Forces motrices du Jura et des Alpes et à la création de l'Union pour l'Industrie et l'Electricité (Unie), société dont le programme tend à organiser un système coordonné et logique d'équipements hydroélectriques et de réseaux de distribution entre la région méditerranéenne et Paris.

On pense que cet ensemble d'efforts permettra de procurer en énergie hydraulique une fraction appréciable de l'énergie dont elle aura besoin, à une région qui absorbe déjà plus de 2 milliards de kilowatts-heures, et dont les progrès ne sont pas près de se ralentir.

Nous donnons ci-après les explications que peuvent appeler les variations de certains postes du bilan.

A l'actif l'augmentation de plus de 78 millions de francs du compte dépenses de premier établissement provient, pour la majeure partie, des dépenses de construction de l'usine de Vitry-Sud, du poste de Villejuif et du renforcement du réseau de distribution.

Les immobilisations du réseau de distribution concédé à la société s'élèvent au 31 décembre 1929 à 103 882 364,64 fr contre 98 841 096,28 fr au 31 décembre 1928.

Celles des postes et des sous-stations s'élèvent à 67 millions 369 093,62 fr contre 60 132 987,47 fr au 31 décembre 1928.

Au cours de l'exercice écoulé, la société a effectué la conversion en francs de la presque totalité des dollars qu'elle avait conservés.

Le poste participations industrielles est en augmentation de 2 937 440,50 fr.

La société a augmenté ses intérêts dans l'Union financière pour l'Industrie électrique dont le concours lui est de plus en plus précieux, notamment pour l'emploi de ses disponibilités.

D'autre part, en application de sa politique d'accords avec les sociétés disposant d'énergie hydroélectrique, l'Union d'Electricité a participé à la constitution de la Société pour le Transport de l'Energie électrique du Massif central.

Au passif le compte obligations est ramené à 286 706 500 fr en diminution de 2 719 500 fr correspondant aux 5 439 obligations qui ont été amorties au cours de l'exercice.

La réserve d'amortissement a reçu une dotation de 48 millions de francs contre 39 millions de francs en 1928, et passe à 185 746 083,22 fr.

La provision pour grosses réparations et risques d'incendie a été dotée, comme les années précédentes, d'une somme de 2 millions de francs.

Celle pour éventualités diverses a reçu 6 millions de francs contre 1 million de francs en 1928.

L'examen du compte de profits et pertes montre que les produits de l'exploitation, les intérêts de fonds placés et les revenus de portefeuille se sont élevés, en 1929, à 137 millions 066 724,94 fr contre 116 260 267,52 fr en 1928, soit une augmentation de 20 806 457,42 fr.

Après déduction des frais généraux, des impôts et des charges d'obligations qui forment un total de 33 560 420,69 fr, il reste un solde de 103 506 304,25 fr.

Sur ce solde, il est affecté à des amortissements et à des réserves une somme totale de 69 061 630,72 fr.

Le bénéfice net de l'exercice ressort donc à 34 444 673,53 fr contre 28 034 466,47 fr en 1928.

La répartition est effectuée comme suit : 5 pour 100 à la réserve légale, 1 722 233,67 fr; premier dividende de 6 pour 100 sur 256 250 000 fr, montant du capital versé et non amorti, 15 375 000 fr.

Il reste une somme de 17 347 439,86 fr qui est répartie comme suit : 10 pour 100 au conseil d'administration, 1 734 743,98 fr; dividende supplémentaire, 15 250 000 fr.

Le surplus, soit 362 695,88 fr, ajouté au report de l'exercice précédent 1 277 561,60 fr, forme un report à nouveau de 1 640 257,48 fr.

Le dividende brut de l'exercice 1929 est ainsi fixé à 12 pour 100, soit 30 fr par action O. Le dividende brut de l'action P est de 6,25 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution et d'augmentation du capital	1 »
Mobilier	1 »
Dépenses de premier établissement :	
Usines apportées par les réseaux, moins réalisations et dépréciations	7 564 654,33
Usines de Vitry, Billancourt, Nanterre, Les Moulineaux	82 254 419,91
Usine de Gennevilliers	311 748 086,95
Usine de Vitry-Sud	107 281 035,57
Réseaux de distribution et sous-stations	171 251 458,26
Approvisionnements	20 460 705,81
Caisses et banques	77 407 126,54
Débiteurs divers	52 521 197,80
Participations industrielles	25 944 767,79
Dépôts et cautionnements	417 272,95
Frais d'émission et primes de remboursement des obligations :	
Obligations 5 pour 100	1 474 693,65
Obligations 6,5 pour 100 (en dollars)	10 556 132 »
Versements à appeler sur actions P	18 750 000 »
	887 631 553,57

Passif.

	fr
Capital :	
1 000 000 d'actions O de 250 fr	250 000 000 »
100 000 actions P de 250 fr	25 000 000 »
Obligations :	
5 pour 100	17 505 000 »
6 pour 100	107 426 500 »
7 pour 100	59 695 000 »
6,5 pour 100 (en dollars)	102 080 000 »
Prime d'émission des actions O 1927	20 000 000 »
Réserve légale	6 972 910,84
Réserve d'amortissement	185 746 083,22
Provision pour grosses réparations et risques d'incendie	12 000 000 »
Provision pour éventualités diverses	18 000 000 »
Créanciers divers	22 118 301,86
Coupons à payer et obligations à rembourser	11 441 522,52
Avances sur consommation	13 924 000 »
Profits et pertes :	
Report de l'exercice précédent	1 277 561,60
Bénéfice net de l'exercice	34 444 673,53
	887 631 553,57

Electricité de Strasbourg.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 30 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 70 millions de francs et dont le siège social est à Strasbourg, rue du 22-Novembre, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'exercice 1929 s'est déroulé normalement; il a été caractérisé particulièrement par un important développement de la vente d'énergie en dehors de la zone de distribution proprement dite.

L'usine génératrice du Port-du-Rhin a été agrandie, d'une part, pour renforcer plus encore la sécurité de l'exploitation et assurer la satisfaction d'une demande d'énergie toujours en progrès, d'autre part, pour faire face aux ventes importantes en dehors de la zone de distribution. Un nouveau sécheur et un nouveau broyeur ont été installés au poste de pulvérisation. La chaufferie a été agrandie de façon à recevoir quatre nouvelles chaudières, dont deux de 1 200 m² en voie d'exécution. Une nouvelle cheminée de 90 m de hauteur et de 5,50 m de diamètre intérieur au sommet est sur le point d'être achevée et des travaux pour l'installation d'un troisième groupe de 20 000 kw sont entamés. Le quai en face de l'usine a été aménagé par le Port autonome, de sorte qu'on a pu y installer, pour le déchargement de péniches et chalands du Rhin, un portique capable de débiter 100 t à l'heure; le transport du charbon par eau sera vraisemblablement inauguré au cours de l'année 1930, à l'achèvement des travaux de raccordement du bassin Vauban au bassin du Port. Enfin, se trouve presque terminé l'équipement d'un poste extérieur du type 150 000 v.

L'usine génératrice du Port-du-Rhin a produit, en 1929, 62 124 998 kw-h contre 33 637 695 kw-h en 1928, soit une augmentation de 84,7 pour 100; l'usine de la rue de Molsheim a produit, en 1929, 100 891 409 kw-h contre 75 271 882 kw-h, en 1928, soit une augmentation de 34 pour 100. L'augmentation de production pour l'ensemble des deux usines ressort à 49,7 pour 100.

Le réseau à très haute tension est en voie d'extension par la création d'une nouvelle ligne 150 000 v à six conducteurs entre l'usine du Port-du-Rhin et le futur poste de Graffenstaden, d'une ligne 70 000 v à trois fils entre les postes de la Holzmatt et de Graffenstaden et d'une artère 70 000 v de Graffenstaden à Dettwiller.

Un nouveau transformateur de 13 000 kv-a a été installé au poste de la Holzmatt et de nouveaux câbles ont été tirés entre ce poste et l'usine de la rue de Molsheim.

Dans le réseau urbain, la société a agrandi le poste Fustel de Coulanges et effectué des modifications dans l'emplacement des câbles à la suite de travaux importants faits par le Port autonome dans son territoire.

L'agrandissement de l'usine du Port-du-Rhin et l'interconnexion avec les voisins ont amené à augmenter sensiblement la puissance de court-circuit du système et il a été nécessaire dans ce but de procéder au remplacement systématique des disjoncteurs de différents postes de la boucle à 13 000 v autour de la ville de Strasbourg.

Dans le réseau extérieur, la société a perfectionné l'équipement des postes sur poteaux et introduit dans tous les postes la protection tripolaire.

Devant le développement de la charge de l'ensemble du réseau, il a fallu poursuivre le renforcement de la tension de distribution de certaines parties extérieures de la ville et des communes du réseau extérieur et la porter à 220/380 v.

Le programme d'électrification des treize communes et annexes restant à électrifier n'a pu être exécuté par suite des difficultés rencontrées pour le passage des lignes et il n'a été réalisé que le raccordement de Malplaquet, annexe de Labroque.

La vente d'énergie dans le secteur de la société a été de 129 745 894 kw-h (119 263 693 kw-h en 1928) et la vente totale, en y comprenant la fourniture d'énergie en dehors de la zone d'action, a été de 151 676 346 kw-h (121 134 753 kw-h en 1928) en augmentation de 8,5 pour 100 pour la vente dans la zone d'action et de 25 pour 100 pour la vente totale. Il y a lieu d'enregistrer le développement considérable de la vente d'énergie aux sociétés voisines, le nombre de kilowatts-heures vendus à ce titre étant passé de 1 871 060 kw-h en 1928 à 21 930 452 kw-h : ce développement montre l'augmentation rapide des besoins d'énergie en Alsace et le rôle joué par les usines thermiques de la société, en particulier par l'usine du Port-du-Rhin.

L'action méthodique pour l'accroissement de la vente d'énergie dans la propre zone de distribution a été poursuivie :

Pour l'industrie, on a cherché surtout à réduire les tarifs pour les clients dont la consommation est régulière et répartie sur un grand nombre d'heures d'utilisation, soit de jour, soit de nuit, et la société a créé, pour favoriser le développement des applications thermiques, en particulier des fours électriques de diverses natures, un service spécial susceptible de familiariser sa clientèle avec ces applications d'un très grand avenir.

Les artisans bénéficient d'un tarif nouveau avec des rabais importants pour la consommation de nuit ou des heures creuses de midi.

Quant à la clientèle domestique, l'action pour la démonstration et la vente d'appareils de toute nature a été intensifiée, en particulier pour le matériel de cuisine dans les réseaux ruraux. Des résultats intéressants ont été obtenus dans ce domaine. Il a été placé, au cours de l'année, 214 chauffe-eau à accumulation représentant 28 933 litres et 347 kw, 1 579 électroéconomes (appareils spéciaux de cuisson économique) d'une puissance totale de 1 169 kw et 331 autres appareils de cuisson correspondant à 950 kw environ.

Un décret en date du 6 mai 1929 a accordé à la société, pour l'ensemble du réseau à haute tension, une concession d'Etat pour distribution aux services publics et aux particuliers; cette concession qui avait été demandée il y a plusieurs années a pour but de mettre l'ensemble du réseau sous un régime administratif bien défini et conforme à la législation française. Une demande de déclaration d'utilité publique pour ces réseaux fait actuellement l'objet d'un examen au Ministère des Travaux publics.

La société a poursuivi son programme de liaison avec les réseaux voisins. La Société de Transport d'Energie électrique d'Alsace et de l'Est (Tredal) construit une ligne d'interconnexion à 150 000 v allant de Strasbourg à Logelbach près de Colmar où elle se rattachera aux lignes existantes des Forces motrices du Haut-Rhin. Elle a en outre demandé la concession pour une ligne de transmission à haute tension à 150 000 v de Logelbach à Laneuveville près de Nancy.

Grâce à une entente avec la Badische Landeselektrizitätsversorgung A.-G. (Badenwerk), l'Electricité de Strasbourg prévoit la construction d'une ligne à 110 000 v entre l'usine du Port-du-Rhin et le poste d'Offenbourg : cette ligne servira à des échanges d'énergie entre les deux sociétés.

Cette réalisation de grandes artères de transmission d'énergie à haute tension dans la région, en renforçant les liaisons avec les voisins, augmentera sensiblement la sécurité de distribution et par les échanges d'énergie qu'elle permettra, assurera un meilleur rendement des installations.

L'examen du bilan donne lieu aux remarques suivantes :

A l'actif, les immobilisations ont passé de 219 millions 344 296,54 fr à 252 094 830,30 fr. Cette augmentation affecte particulièrement l'usine du Port-du-Rhin et le développement des réseaux tant en ville qu'à l'extérieur.

Le compte titres et participations qui était de 13 228 956,85 fr en 1928 est monté à 19 137 136,35 fr, différence résultant principalement de la participation à l'augmentation de capital des Forces motrices du Haut-Rhin.

Le compte débiteurs qui était de 38 461 919,50 fr est, au

31 décembre 1929, de 52 935 706,58 fr. La principale augmentation est constituée par des avances aux fournisseurs pour travaux ou commandes en cours.

Au passif, le fonds de stabilisation du dividende est passé de 2 527 037,80 fr à 3 339 984,15 fr par suite de la dotation qui lui a été faite sur le bénéfice net de l'exercice 1928 et des intérêts statutaires.

Le fonds de renouvellement a été doté d'un versement de 6 520 000 fr. Ce versement est justifié par le développement important pris ces dernières années par l'ensemble des installations.

Le compte amortissement des immobilisations est passé de 32 948 131,83 fr à 39 556 168,22 fr.

Le compte des créditeurs qui était de 41 545 389,65 fr est passé à 82 583 353,47 fr. Cette augmentation se justifie principalement par l'accroissement du compte des abonnés-déposants, par une créance de l'Etat français pour prestations en nature d'un montant de 20 473 483,04 fr et par une provision pour intérêts à payer au Trésor, intérêts déjà acquis, mais payables seulement le 31 décembre 1932 (cette provision figure à un chapitre spécial du compte de profits et pertes). Une convention spéciale intervenue entre le ministre des Finances et la société a, en effet, fixé les conditions et les modalités d'utilisation et de remboursement au Trésor des reichsmarks mis à la disposition de celle-ci par application du Plan Dawes, leur montant total pouvant atteindre 7 millions de marks et le remboursement de la dette ainsi contractée vis-à-vis du Trésor étant échelonné sur un certain nombre d'annuités. Le recours aux prestations en nature a donc notablement facilité la mise à exécution du programme actuel d'extension.

En ce qui concerne la caisse de pensions, on y a incorporé la provision de 500 000 fr constituée pendant l'exercice 1928 et versé, en dehors des intérêts et dotation statutaire, une dotation extraordinaire de 800 000 fr. En outre, il y est affecté le fonds de réserve spécial de 100 000 fr qui figurait encore au bilan au 31 décembre 1928. Ces versements ont été reconnus nécessaires à la suite des révisions techniques que la société a fait exécuter. Le fonds de la caisse de pensions est passé de 6 767 914,73 fr en 1928, à 9 339 463,28 fr.

Au compte de profits et pertes, les frais d'exploitation sont passés de 26 933 651,74 fr à 31 793 306,66 fr : la plus grande partie de cette augmentation est due aux frais de production d'énergie à la suite du développement de la vente.

Les redevances sont passées de 12 000 443,60 fr à 13 567 916,90 fr.

Les renseignements qui précèdent font ressortir, d'une façon générale, le développement des affaires de la société. Pour assurer ce développement dans des conditions normales et pour permettre en particulier de réaliser le programme de travaux neufs qui en est la conséquence, celle-ci va augmenter son capital social qui sera porté de 70 millions de francs à 105 millions de francs.

Le solde du compte profits et pertes s'élevant à 8 899 609,47 fr et le report de l'exercice 1928 à 229 292,65 fr, le bénéfice net de l'exercice est de 8 670 316,82 fr. Sur cette somme il est attribué pour premier dividende de 4 pour 100, 2 800 000 fr.

Il est attribué statutairement au conseil 7,50 pour 100 sur le solde, soit 440 273,76 fr.

La répartition complémentaire est la suivante : dividende supplémentaire de 4 pour 100, 2 800 000 fr; impôt correspondant à 8 pour 100 net d'impôt sur le revenu, 1 066 666,66 fr ; dotation du fonds de stabilisation du dividende, 700 000 fr; pour la Ville de Strasbourg, 431 688,20 fr.

Il reste une somme de 431 688,20 fr qui, ajoutée au report de l'exercice 1928, soit 229 292,65 fr donne un total de 660 980,85 fr qui est reporté à nouveau.

Le dividende est donc de 8 pour 100 net d'impôt sur le revenu pour chaque action de 1 250 fr payable à raison de 100 fr par action nominative et 87,20 fr par action au porteur, le 1er juillet 1930, contre remise du coupon n° 30.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Bâtiments d'administration	603 174,77
Terrains	1 248 429,54
Maisons ouvrières	1 366 908,55
Usines rue de Molsheim et Port du Rhin	114 525 226,22
Réseau Ville	57 826 876,38
Réseau extérieur	75 041 159,17
Réseau badois	4 701 568,53
Mobilier	686 879,13
Matériel d'éclairage public	1 »
Automobiles	125 647,88
Ateliers et outillage	230 936,17
Matériel d'exploitation et marchandises	9 428 707,32
Stock de combustibles	1 610 148,55
Installlations en location	5 883,95
Cautions	84 653,50
Titres et participations	19 137 136,35
Caisse	49 808,32
Assurances	160 681,85
Débiteurs :	
Banques	18 993 353,97
Divers	33 942 352,61
Cautionnements (965 832,80 fr)	pour mémoire.
	339 769 533,76

Passif.

	fr
Capital-actions	70 000 000 »
Obligations :	
4,50 pour 100 1901	851 250 »
4 pour 100 1910	2 377 500 »
4,50 pour 100 1912	3 978 750 »
4,50 pour 100 1914	3 192 500 »
5 pour 100 1920	10 415 000 »
Bons 8 pour 100 1926	35 000 000 »
Emprunt suisse 7 pour 100 1926	30 669 533,80
Fonds de réserve légale	10 531 846,44
Fonds de stabilisation du dividende	3 339 984,15
Réserve spéciale pour dépréciation du stock de matériel	653 138,25
Fonds de renouvellement	23 040 529,80
Amortissements, immobilisations	39 556 168,22
Obligations sorties au tirage et non remboursées	1 516 000 »
Coupons d'obligations restant à payer	557 674,30
Intérêts courus sur bons 8 pour 100 et emprunt suisse 7 pour 100	1 571 062,60
Dividendes non réclamés	186 115,85
Caution des abonnés	1 029 589,70
Créditeurs	82 583 353,47
Provision pour affaires litigieuses	480 464,43
Fonds de la caisse de pensions	9 339 463,28
Cautionnements (965 832,80 fr)	pour mémoire.
Profits et pertes :	
Report de 1928	229 292,65
Bénéfice net de 1929	8 670 316,82
	339 769 533,76

SECTION DE LÉGISLATION

Une intéressante application de l'article 30, dit des pénalités et amendes du cahier des charges, à l'occasion de l'extension d'un réseau

(Arrêt du Conseil d'Etat du 23 mai 1930).

La pénalité, ou la clause pénale inscrite dans le cahier des charges type, doit être envisagée seulement dans les rapports de l'autorité concédante et du concessionnaire. Le préjudice éprouvé ou non par l'abonné est indifférent à l'application de l'article 30, même quand il s'agit d'un retard dans la fourniture du courant prévue par l'article 14 du même cahier.

I. **Faits ayant donné lieu au procès.** — Nous n'aurions pas pensé à citer l'arrêt que l'on va lire ci-dessous, s'il ne fixait un point très important sur la question des amendes qu'une autorité concédante (une commune dans le cas particulier) peut, en conformité du cahier des charges, infliger à un concessionnaire, et s'il ne précisait le sens juridique à donner à l'article 30 dont nous connaissons tous le texte : « Faute par le concessionnaire de remplir les obligations qui lui sont imposées par le cahier des charges, des amendes pourront lui être infligées, sans préjudice, s'il y a lieu, de dommages-intérêts envers les tiers intéressés. Les amendes seront prononcées au profit de la commune, par le maire, après avis de l'ingénieur en chef du contrôle. Les amendes seront appliquées dans les conditions suivantes : En cas d'interruption générale non justifiée du courant, amende de ... par heure d'interruption. En cas de manquement aux obligations imposées par les articles 6, 9, 13, 14, 28 du présent cahier des charges, et par chaque infraction, amende de ... par jour. »

Une compagnie concessionnaire était tenue, par l'article 14 de son contrat, de terminer « et de mettre en service, dans le délai de six mois à dater de l'approbation des projets, les lignes nouvelles d'une longueur supérieure à 25 m, dont l'installation lui serait demandée par un ou plusieurs consommateurs, ayant préalablement pris l'engagement de garantir pendant cinq ans une recette brute annuelle de 2,50 fr par mètre courant de canalisation aérienne ».

Par l'article 30, une amende de cinquante francs par jour de retard avait été stipulée pour le manquement de cette obligation.

Une demande de courant ayant été présentée par des industriels dans la commune de Beauzac, à la compagnie concessionnaire, celle-ci adressa un projet de ligne au maire, qui l'accepta et l'approuva le 10 janvier 1924 ; six mois après, le projet n'ayant pas été exécuté, le maire prononça l'amende de cinquante francs par jour de retard ; devant le Conseil de Préfecture de la Haute-Loire, la compagnie demanda l'annulation de cette pénalité, en se basant sur deux arguments qu'elle reprit devant le Conseil d'Etat, après avoir été déboutée le 30 janvier 1925. L'un est inspiré plus spécialement par une question de fait, l'autre relevait plutôt du domaine juridique, ou plus exactement d'une interprétation très subtile de l'article litigieux du cahier des charges, appelé couramment « l'article des pénalités ».

II. **Examen du premier moyen.** — La compagnie concessionnaire alléguait tout d'abord le fait suivant : peu de temps après l'approbation par le maire du projet d'extension du réseau, l'Administration des Postes et Télégraphes avait établi un fil téléphonique empruntant le parcours envisagé par la société concessionnaire pour ses nouveaux conducteurs : elle la contraignait ainsi à refaire ses projets et à les soumettre de nouveau à l'approbation du maire, qui ne l'avait donnée que le 17 mai 1924 ; c'est donc, prétendait-elle, à partir de cette date que courait le délai de six mois, puisqu'une circonstance assimilable à la force majeure avait empêché l'emplacement des conducteurs électriques tel qu'il avait été initialement conçu.

Evidemment, l'allégation d'un fait suscite toujours la thèse contraire et la commune ne pouvait que plaider le peu d'importance de cette circonstance nouvelle, dont le résultat n'avait été qu'un léger changement dans la direction première des fils.

Le Conseil d'Etat n'a point paru décidé à s'occuper de cette discussion, et son arrêt comporte un enseignement bien plus intéressant.

L'article 14 du cahier, qui impose au concessionnaire d'établir l'extension du réseau quand les consommateurs intéressés prennent les engagements voulus, ne

doit pas être isolé du règlement d'administration publique, paru le 3 avril 1908, pour l'application de la loi du 15 juin 1906. Dans ce règlement, l'article 35 est ainsi libellé : « Les travaux qui se bornent à l'établissement d'une ligne secondaire ou d'un branchement ayant pour unique objet de relier un immeuble à une canalisation existant sur ou sous la voie publique peuvent être exécutés par les concessionnaires sans autorisation préalable, à charge par ceux-ci de prévenir huit jours d'avance le service du contrôle, le service de la voirie et les autres services intéressés, et sous la condition expresse qu'aucune opposition ne soit formulée dans le délai fixé. »

Ce n'est donc point au maire seulement que le projet d'extension doit être communiqué, mais aux différents services intéressés, parmi lesquels figurent, au premier chef, les services de l'Administration des Postes et Télégraphes, et cette particularité avait été mise en vive lumière par le ministre des Travaux publics, auquel, suivant l'usage, le Conseil d'Etat avait communiqué l'appel de la compagnie ; celle-ci, saisissant l'argument, avait immédiatement soutenu que si elle avait envoyé le projet à une autorité incompétente pour en connaître, les délais n'avaient pu commencer à courir et que l'amende pour retard devait disparaître.

Mais ce n'est point une pareille conséquence que le Conseil d'Etat entendit tirer de l'observation du ministre sur l'insuffisance de la présentation des projets. Une compagnie concessionnaire doit connaître les règlements et faire à tous les services compétents les communications requises. Si elle s'exonère de cette sujétion, elle s'expose à ne pas recevoir en temps utile les observations que ces services avaient à lui signifier ; elle est par conséquent en faute, et une faute contractuelle suffit pour légitimer l'application de la clause pénale. Le Conseil d'Etat ne pouvait donc qu'adopter le chiffre consacré par l'arrêté du Conseil de Préfecture ; il admet qu'avertie en temps utile, l'Administration des Postes et Télégraphes aurait pu transmettre au service du contrôle les indications relatives au fil téléphonique qu'elle entendait placer.

III. Examen du second moyen. — Par un commentaire plus habile que juridique, la compagnie concessionnaire interprétait l'article des pénalités inscrites au cahier des charges de la façon suivante : la commune, en stipulant pour des cas déterminés des amendes, n'a d'autre but que de contraindre les concessionnaires à bien servir les consommateurs. Ces derniers font l'objet de toutes ses préoccupations. S'ils éprouvent un préjudice, il est naturel que le concessionnaire supporte les conséquences de sa faute, et soit frappé d'une amende. Mais s'il est démontré que ce préjudice n'existe pas, pour quel motif la commune sévirait-elle, étant plus exigeante que les consommateurs pourraient l'être eux-mêmes dans leur propre affaire ? Verrait-on un tribunal, judiciaire ou administratif, accorder une réparation pour un préjudice inexistant ? Or, malgré le retard reproché à la compagnie, elle a été en mesure de fournir l'énergie électrique aux usines qui l'avaient demandée, bien avant que celles-ci fussent en état de l'utiliser, ainsi que cela résulte d'un procès-verbal de constat en novembre 1924.

Le Conseil d'Etat a répondu que, sans doute, un industriel peut demander des dommages-intérêts, quand il subit un préjudice, ce qui conduit à décider, à contrario, qu'au cas où le préjudice serait nul, aucune condamnation ne saurait intervenir; mais, dans la cause, l'exploitant des usines n'apparaissait même pas, le débat s'agitait entre l'autorité concédante et le concessionnaire, et l'on ne doit jamais perdre de vue la différence entre l'intérêt de l'autorité concédante et les intérêts des particuliers.

Une commune qui confie l'exploitation d'un service à un concessionnaire entend que ce service soit géré d'une façon impeccable, infiniment mieux qu'elle le gérerait elle-même (ce qui n'est pas très difficile, d'ailleurs); elle veut avoir une sanction à appliquer, quand l'exploitant commet une faute qu'elle se pardonnerait à elle-même très facilement; elle veut que l'éclairage soit donné toute la nuit et est en droit de stipuler des amendes pour l'interruption d'un éclairage nocturne alors qu'un consommateur pourrait être très gêné pour démontrer qu'il a éprouvé un préjudice appréciable par une suppression de courant pendant toute une nuit. L'utilité d'une clause pénale se trouve dans ce principe : du moment que les parties en ont accepté le libellé contractuel, elles ont enlevé au juge le droit d'en apprécier le bien ou le mal fondé.

IV. **Texte de l'arrêt du 23 mai 1930.** — Le Conseil d'Etat : Vu la loi du 25 mai 1872; ouï M. Delfau, maître des Requêtes, en son rapport; ouï Me Marcilhacy, avocat de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre, et Me Tabareau, avocat de la commune de Beauzac, en leurs observations; ouï M. Rouchon-Mazerat, maître des Requêtes, commissaire du Gouvernement, en ses conclusions;

Considérant que, par application des dispositions combinées de l'article 14 de son cahier des charges et de l'article 35 du décret du 3 avril 1908 portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi du 15 juin 1906, la compagnie requérante, saisie par les sieurs Murgue d'une demande tendant à l'installation d'une ligne secondaire de plus de 25 m, devait, dans le délai d'un mois à partir de la demande qui lui en avait été faite par ces industriels, élaborer un projet et en saisir « le service du contrôle, le service de la voirie et les autres services intéressés », ledit projet devant être ensuite exécuté dans un délai de six mois à compter de son approbation ; que l'inobservation de ces délais pouvait, aux termes de l'article 30 du cahier des charges, être sanctionnée par une amende de 50 fr par jour prononcée par le maire au profit de la commune ;

Considérant qu'il résulte de l'instruction, que la demande réglementaire de courant avait été présentée à ladite compagnie par les sieurs Murgue, le 30 no-

vembre 1923 ; que les travaux d'établissement de la ligne n'ont été achevés que le 14 novembre 1924 et que ce retard provient de ce que la compagnie n'avait soumis son projet primitif à aucun des services techniques ci-dessus désignés ; qu'ainsi, c'est à bon droit qu'il lui a été fait application de la clause pénale ci-dessus rappelée ;

Considérant, il est vrai, que la compagnie soutient, subsidiairement, que les sieurs Murgue n'ayant éprouvé aucun préjudice du fait du retard apporté à l'installation de leur ligne, ce retard ne pouvait être sanctionné d'aucune amende ;

Considérant qu'il résulte des termes mêmes de l'article 30 ci-dessus visé qu'en cas d'inobservation des clauses contractuelles auxquelles il se réfère, la seule constatation de l'infraction rend le concessionnaire passible d'une amende au profit de la commune, « sans préjudice, s'il y a lieu, de dommages-intérêts envers les tiers intéressés » ;

Considérant que, de tout ce qui précède, il résulte que c'est à bon droit que, par la décision attaquée, le Conseil de Préfecture a décidé qu'en infligeant à la compagnie requérante une amende pour retard dans l'installation de la ligne destinée à desservir l'usine Murgue, le maire de la commune de Beauzac n'avait fait qu'user des droits qu'il tient du contrat ;

Décide :

Article premier. — La requête ci-dessus visée de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre est rejetée ;

Art. 2. — Ladite compagnie supportera les dépens.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt du Conseil d'Etat concernant l'amende encourue pour refus de communication de la comptabilité commerciale.

La loi du 30 mars 1923 a fixé des amendes différentes, en matière de taxe sur le chiffre d'affaires, selon que le contribuable s'est borné à s'acquitter tardivement de l'impôt, selon qu'il a été reconnu dans sa comptabilité ou dans le relevé dont le dépôt est prescrit par l'article 67, une omission ou une insuffisance au moyen de laquelle il a éludé le payement de l'impôt, ou selon qu'il s'agit de toute autre contravention aux dispositions des articles 59 à 72 de la loi du 25 juin 1920.

Au nombre de ces contraventions non définies doit être compris le refus de communication de la comptabilité ; le montant de l'amende encourue ne peut être compris, par application de la loi du 30 mars 1923, article 14, paragraphe 2, alinéa 2, qu'entre le chiffre minimum de 50 fr et le chiffre maximum de 1 000 fr.

C'est ce qui résulte de l'arrêt suivant rendu par le Conseil d'Etat le 28 février 1930.

Le Conseil d'Etat :

Sur la contravention relevée contre le sieur Cavin :

Considérant qu'il résulte des énonciations du procès-verbal en date du 15 novembre 1924 que le sieur Cavin a refusé de communiquer sa comptabilité commerciale à deux agents de l'Administration des Contributions directes venus pour en effectuer la vérification en vue d'établir son chiffre d'affaires ; que si le sieur Cavin soutient dans sa requête au Conseil d'Etat, comme il l'avait fait devant le Conseil de Préfecture, que ladite comptabilité lui avait été dérobée, il n'apporte aucune preuve à l'appui de cette allégation ; qu'il suit de là que le requérant s'est rendu coupable de la contravention prévue et punie par les articles 67 et 69 de la loi du 25 juin 1920 ;

Sur le montant de l'amende ;

Considérant que si, aux termes de l'article 69 de la loi du 25 juin 1920 « tout refus par un redevable des communications prescrites par les articles 66 et 67 de la présente loi devait être constaté par un procès-verbal et puni d'une amende de 500 à 5 000 fr sans décimes » et si l'article 32 de la loi du 21 juillet 1920, combiné avec l'article 5 de la loi du 17 avril 1906 disposait que le refus par un commerçant de communiquer ses livres de comptabilité serait passible d'une amende de 1 000 à 10 000 fr, en principal, l'article 14 de la loi du 30 mars 1923 a modifié le régime des amendes en matière de taxe sur le chiffre d'affaires ; qu'il fixe des sanctions différentes selon que le contribuable s'est borné à s'acquitter tardivement de l'impôt, selon qu'a été reconnu dans sa comptabilité ou dans le relevé dont le dépôt est prescrit par l'article 67, une omission ou une insuffisance au moyen de laquelle il a éludé le paiement de l'impôt, ou selon qu'il s'agit de toute autre contravention aux dispositions des articles 59 à 72 de la loi du 25 juin 1920 ;

Considérant qu'au nombre de ces dernières contraventions non définies, doit être compris le refus de communications prévues par les articles 66 et 67, précédemment sanctionné par les dispositions législatives susrappelées ;

Considérant dès lors que c'est à tort que l'amende infligée au sieur Cavin a été fixée par le Conseil de Préfecture à 3 000 fr en vertu de l'article 5 de la loi du 17 avril 1906 ; que le montant de ladite amende par application de l'alinéa 2, paragraphe 2, de l'article 14 de la loi du 30 mars 1925, ne pouvait être compris que entre le chiffre minimum de 50 fr et le chiffre maximum de 1 000 fr ;

Considérant qu'il sera fait une juste appréciation de l'ensemble des circonstances de l'affaire en fixant ladite amende à 1 000 fr ;

Sur l'astreinte :

Considérant qu'en vertu de l'article 69 de la loi du 26 juin 1920, indépendamment de l'amende, le redevable devra, en cas d'instance, être condamné à représenter les pièces et documents non communiqués sous une astreinte de 100 fr au minimum par chaque jour de retard : que cette disposition n'a pas été abrogée par l'article 14 de la loi du 30 mars 1923 ; que dès lors c'est à bon droit qu'en raison du refus de présenter sa comptabilité le Conseil de Préfecture a soumis le sieur Cavin à cette astreinte ;

Décide :

Article 1er. — Le sieur Cavin est condamné à une amende de 1 000 fr.

Article 2. — L'arrêté susvisé du Conseil de Préfecture en date du 24 juillet 1926 est réformé en ce qu'il a de contraire à la présente décision.

Article 3. — Le surplus des conclusions de la requête est rejeté.

Arrêt de la Cour de Cassation concernant les amendes encourues pour contraventions à la législation sur la durée du travail.

Le plus souvent quand des ouvriers travaillent pendant un temps dépassant la durée légale, une partie de ce temps se trouve être au delà de l'heure fixée par l'horaire réglementaire. Il semblerait donc que si le patron est condamné à une amende pour avoir fait ou laissé travailler ses ouvriers plus longtemps que la durée légale, il ne saurait être, en outre, poursuivi du fait que le travail supplémentaire a été effectué en dehors du temps fixé par l'horaire.

C'est ce qu'avait pensé un entrepreneur de travaux condamné par le Tribunal départemental de la Côte-d'Or à deux amendes distinctes, l'une pour dépassement de la durée légale de travail, l'autre pour ne s'être pas conformé à l'horaire affiché dans ses chantiers.

La Chambre criminelle de la Cour de Cassation, par arrêt du 2 mai 1930, a confirmé le jugement du Tribunal départemental de la Côte-d'Or : les deux faits constituent donc des contraventions distinctes pouvant chacune donner lieu à l'application de sanctions pénales.

Voici le texte de cet arrêt :

La Cour :

Statuant sur le pourvoi d'Artaud Louis-Auguste, contre un jugement du Tribunal départemental de la Côte-d'Or du 11 juillet 1929, statuant comme juridiction d'appel en matière de simple police, qui l'a condamné à onze amendes de 5 fr pour avoir fait travailler des ouvriers après l'heure fixée par l'horaire réglementaire affiché suivant les prescriptions légales.

Sur le moyen pris de la violation des articles 6, 8, 165 du livre II du Code du Travail et des articles 2 et 4 du décret du 11 février 1924, en ce que le demandeur, déjà condamné à onze amendes par application de l'article 6 susvisé pour avoir occupé onze ouvriers au delà de la durée légale du travail, est condamné, en outre, à onze amendes par application du décret susvisé pour avoir employé les mêmes ouvriers après l'heure fixée par l'horaire affiché, alors qu'il n'y a en réalité qu'une seule contravention pour chaque ouvrier, le dépassement de la durée légale du travail impliquant nécessairement que l'horaire établi conformément aux prescriptions de la loi sur la durée du travail n'a pas été respecté.

Attendu que le procès-verbal de l'inspecteur du Travail qui a servi de base à la poursuite constate en fait que, le 21 août 1928, à 18 h 50, onze ouvriers de l'entreprise de construction Miccioli et Romers travaillaient, sous la direction d'Artaud, chef de chantier, à une construction édifiée pour le compte de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est ; qu'il a été établi que ces ouvriers travaillaient pendant dix heures par jour, contrairement aux prescriptions de l'article 6 du livre II du Code du Travail ; qu'en effet l'entreprise étant soumise au régime forfaitaire prévu par l'article 3, paragraphe 3, du décret du 11 février 1924, la durée du travail ne pouvait excéder neuf heures et demie par jour ;

Attendu que le procès-verbal a constaté en outre que suivant l'horaire régulièrement établi et affiché à la porte du bureau du chef des travaux, les ouvriers ne pouvaient être occupés après dix-sept heures ;

Attendu que, dans ces conditions de fait, le jugement attaqué a retenu à bon droit contre Artaud onze infractions à l'article 4, paragraphe 2, du décret du 11 février 1924, résultant du dépassement de l'heure fixée par l'horaire ; que ces infractions résultant d'un fait matériel commis contrairement aux indications dudit horaire ne se confondaient pas avec celles qui résultaient de la durée excessive du travail et qui ont motivé contre le demandeur une condamnation à onze amendes non critiquée en effet et par suite passée en force de chose jugée ; qu'en effet l'article 365 du Code d'Instruction criminelle n'était pas applicable dans l'espèce, que, d'autre part, le fait relevé par le procès-verbal, commis en violation de deux dispositions distinctes, constituait deux contraventions devant donner lieu l'une et l'autre aux sanctions édictées par la loi pour assurer le respect de ses prescriptions ;

D'où il suit que le moyen n'est pas fondé.

Par ces motifs, rejette.

Sur le calcul de l'impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux des exercices clos pendant le premier trimestre 1930.

Le « Journal officiel » du 25 juillet 1930 publie, page 3157 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

8786. — M. André Février expose à M. le ministre du Budget le cas d'un commerçant qui a clos son exercice comptable le 28 février 1930 et demande : *a*) si, en raison des dispositions de la loi du 27 décembre 1929 portant modification de la date d'ouverture de l'année financière, les impositions seront établies d'après les règles concernant l'assiette des impôts de 1929 ou s'il sera possible de faire bénéficier ce contribuable des dégrèvements prévus à la loi du 29 décembre 1929 et à celle des finances de 1930 ; *b*) s'il ne serait pas possible aussi de décider, au besoin par un texte législatif, que, dans les impositions établies du 1er janvier au 31 mars 1930, par suite de cession ou de cessation de commerce, il sera tenu compte des dégrèvements, objet de la loi du 29 décembre 1929. (Question du 19 avril 1930.)

Réponse. — *a*) Les bénéfices de l'exercice clos le 28 février 1930 ne seront imposés qu'en 1931. Ce sont les bénéfices du bilan arrêté au 28 février 1929 qui, dans le cas envisagé, doivent servir de base à l'impôt de 1930 et cet impôt sera établi en tenant compte des dégrèvements prévus par les lois des 29 décembre 1929 et 31 mars 1930) ; *b*) l'article 4 de la loi du 27 décembre 1929, qui a prolongé l'exercice 1929 jusqu'au 31 mars 1930, dispose expressément en son quatrième alinéa, que la perception des droits continuera à être faite pendant la période du 1er janvier au 31 mars 1930, conformément aux lois existantes. Il s'ensuit que les impositions à établir immédiatement par suite de cession ou de cessation d'entreprise au cours du premier trimestre 1930 doivent être faites au titre de l'exercice 1929 et suivant les règles applicables pour l'établissement des impôts dus au titre de cet exercice.

Sur les subventions accordées aux anciens combattants pour la constitution d'une retraite.

Le « Journal officiel » du 8 juillet 1930 publie, page 1454 des « Débats parlementaires, Sénat », la question et la réponse qui suivent.

396. — M. Philippoteaux, sénateur, demande à M. le ministre du Travail si l'Etat, qui accorde, aux termes de la loi du 30 décembre 1928, une subvention de 25 pour 100 aux anciens combattants qui s'affilient à une société mutualiste, leur consent les mêmes subventions s'ils effectuent des versements à la Caisse nationale des Retraites pour la Vieillesse et quels sont, en ce cas, les barèmes à consulter. (Question du 16 juin 1930.)

Réponse. — Les anciens combattants, déposants individuels de la Caisse nationale des Retraites pour la Vieillesse, ne bénéficient pas des dispositions des lois du 4 août 1923 et du 30 décembre 1928. Celles-ci ne s'appliquent qu'aux anciens combattants qui se constituent une pension de retraite, dans les conditions déterminées par la loi du 4 août 1923, par l'intermédiaire d'une organisation mutualiste.

Toutefois, un projet de loi ayant pour but d'étendre les mêmes avantages aux anciens combattants, déposants de la Caisse nationale des Retraites pour la Vieillesse, fait actuellement l'objet d'un échange de vues entre le Ministère du Travail et le Ministère des Finances.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR : **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF : **Ad. CURCHOD**, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 9. — 30 AOUT 1930.

Chronique. — Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique des projets français de normalisation des ajustements, p. 297.— A propos d'une ampoule à rayons X fonctionnant sous une tension constante de 400 000 volts, p. 298.— Bibliographie : High voltage cables (Les câbles à haute tension), par P. DUNSHEATH, p. 298.

Section scientifique et technique. — Diagrammes vectoriels et repérage des bornes des transformateurs triphasés, par F. FLECK, p. 299. — Diagrammes des puissances dans les lignes de transmission d'énergie à longue distance, par A.-K. KOTELNIKOFF, p. 307. — Sur la théorie de l'accumulateur au plomb, par L. JUMAU, p. 311. — Revues, analyses et informations : Ampoule à rayons X du type Coolidge fonctionnant sous la tension de 400 000 volts, p. 312; Suppression des bourdonnements dans les récepteurs radiotéléphoniques alimentés par un réseau de distribution, p. 313.

Section industrielle. — L'usine électrique de Guerlédan et le réseau de distribution de l'Union hydro-électrique armoricaine, par A. MONMERQUÉ, p. 315. — Etude des formes à adopter pour les sections des pylônes en béton, par H. CLAUDE, p. 326. — Revues, analyses et informations : Quelques rapports présentés au Congrès international de Mécanique générale (Liége, 1930), p. 330; Essais d'anneaux de garde munis de fusibles, p. 335; L'application des résultats des recherches sur les surtensions à l'étude des réseaux de transmission, p. 335; Mesure des pertes dans le fer dans les transformateurs triphasés à trois noyaux, p. 336; La ventilation des sous-stations, p. 337; L'effet des capacités en série sur la stabilité des systèmes de transmission d'énergie, p. 338.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Energie électrique du Sud-Ouest, p. 339; Société anonyme des Condensateurs de Trévoux, p. 340; Société parisienne pour l'Industrie des Chemins de fer et des Tramways électriques, p. 341; Société nantaise d'Eclairage et de Force par l'Electricité, p. 342.

Section de législation.— L'obligation de fournir du courant et la capacité de production de l'usine du concessionnaire (Arrêts du 21 mai 1930 et du 26 mai 1930), par Paul BOUGAULT, p. 343. — Législation, jurisprudence, réglementation : Arrêt de la Cour de Cassation concernant le paiement de l'indemnité journalière attribuée pour accident de travail, p. 344.

Comité de Normalisation de la Mécanique : Mise à l'enquête publique des projets français de normalisation des ajustements. — Le Comité de Normalisation de la Mécanique soumet à l'enquête publique un projet de normalisation des ajustements établi dans le cadre de la normalisation internationale. L'étude d'une normalisation internationale des ajustements a été confiée au troisième Comité de l'International Federation of national Standardizing Association, lequel a délégué à une sous-commission le soin d'élaborer des propositions susceptibles d'être entérinées par ledit comité. Dans cette sous-commission sont représentées cinq nations, l'Allemagne, la France, la Suède, la Suisse et la Tchécoslovaquie. Un premier projet français avait été établi et a servi de base aux discussions concurremment avec les systèmes étrangers de chacun des quatre pays mentionnés ci-dessus.

A la suite des premières réunions de la sous-commission, un nouveau projet vient d'être établi en France et qui fait précisément l'objet de la présente enquête.

Voici quelques-unes des questions posées par le Comité de Normalisation de la Mécanique.

Le projet en son état actuel est présenté sous forme d'un texte qui a été entièrement rédigé en France et qu'il suffirait de compléter par l'adjonction des tableaux numériques pour constituer le document définissant finalement la normalisation des ajustements.

Les questions qui se posent en premier lieu sont les suivantes :

1. Les dispositions de principe que contient le texte de l'annexe n° 1 du projet ont-elles votre approbation? Sinon, quelles modifications désireriez-vous leur voir apporter et pour quelles raisons?

2. Le texte en question vous paraît-il convenable et suffisant? Sinon, quelles modifications de forme désireriez-vous qu'on lui apportât, quel complément désireriez-vous qu'il reçût et pour quelles raisons?

Au point de vue numérique, il n'est fait état que des ordres de grandeur des tolérances d'éléments telles qu'elles sont actuellement envisagées; ces ordres de grandeur, qui sont suffisants pour la présente enquête, sont exprimés commodément au moyen d'une « unité d'ajustement » dont les valeurs pour les différents intervalles de diamètre sont données en annexe du projet.

Les tolérances définissant les qualités d'éléments sont indiquées par ailleurs; les questions qu'elles soulèvent sont les suivantes :

3. Le nombre et l'échelonnement des qualités prévues répondent-ils bien à l'ensemble des besoins de votre industrie? Sinon, quelles qualités vous paraît-il superflu de prévoir étant donné vos besoins propres; quelles autres vous paraît-il nécessaire de définir, et dans quels buts?

4. Par quelles expressions estimez-vous que l'on pourrait qualifier les arbres et alésages des différentes qualités de manière à évoquer les conditions d'usinage des éléments correspondants?

. . . . . .

En ce qui concerne les arbres et alésages des différentes qualités, et les ajustements qui seraient recommandés, on remarque qu'avec les éléments des qualités les plus fines on réalise surtout des ajustements serrés ou incertains. Dans les éléments des qualités moins fines, au contraire, il n'y a guère que des ajustements libres ou très libres.

Mais comme l'intérêt de la normalisation n'est en rien diminué si on associe en fait, pour des besoins spéciaux, n'importe quel arbre normalisé, avec n'importe quel alésage également normalisé, on a la possibilité de réaliser des cas d'ajustement très différents de ceux recommandés.

Il est entendu, d'autre part, que les travaux de la sous-commission n'ont porté que sur des diamètres inférieurs à 180 mm. Les ordres de grandeur indiqués pour les écarts et pour les tolérances ne sont donc valables que jusqu'à cette limite. Mais l'on en envisage l'extension jusqu'à 500 mm au moins. Par ailleurs, les ajustements dits « frettés » ont provisoirement été laissés de côté.

Les questions posées sont les suivantes :

6. Pour les diamètres inférieurs à 180 mm, trouvez-vous dans chacune des qualités, les éléments normalisés correspondant à vos besoins, pour les éléments isolés comme pour les ajustements que vous avez à réaliser?

Inversement. certains éléments normalisés vous paraissent-ils superflus, et pour quelles raisons?

En particulier, les ajustements incertains (c'est-à-dire à jeux maximum et minimum de signes contraires) figurant dans le tableau des ajustements recommandés ne vous paraissent-ils pas trop nombreux?

7. Utilisez-vous souvent des diamètres au-dessus de 180 mm? Si oui, dans quelle mesure estimez-vous que l'on puisse étendre à ces diamètres les réponses que vous avez faites aux questions n° 6?

8. Avez-vous fréquemment besoin de réaliser des ajustements serrés, pour lesquels le taux d'adhérence (c'est-à-dire la pression au joint) doive être obtenu avec une certaine précision?

Si oui, sur quelles bases, d'après vous, pourrait-on normaliser de semblables ajustements? Croyez-vous que l'on puisse maintenir des paliers de diamètres à l'intérieur desquels les tolérances seraient constantes en valeurs absolues? Quels serrages diamétraux utilisez-vous?

Les questions posées ne sont pas limitatives. Toutes suggestions sur le sujet de la normalisation des ajustements, si elles sont appuyées sur des faits précis, seront accueillies et examinées avec intérêt.

Toutes objections à ce projet, dont un exemplaire gratuit pourra être envoyé sur demande, pendant la durée de l'enquête, devront parvenir au Comité de Normalisation de la Mécanique, 92, rue de Courcelles, Paris (8e), avant le 31 octobre 1930, date de clôture de l'enquête publique.

A propos d'une ampoule à rayons X fonctionnant sous une tension constante de 400 000 volts. — Dans ce numéro est reproduite, page 312, une communication de M. d'Arsonval présentée à la séance du 30 juillet 1930 de l'Académie des Sciences relative à une ampoule à rayons X du type Coolidge, fonctionnant sous une tension constante de 400 000 v. Cette ampoule dans laquelle le vide a été fait une fois pour toutes, à un seul étage, est construite par la Compagnie générale de Radiologie (Anciens Etablissements Gaiffe-Gallot et Pilon).

Nous croyons intéressant de compléter les renseignements que contient cette communication en décrivant ici sommairement, d'une part, le générateur, ou, plus exactement, le redresseur, adopté à l'usine d'Asnières de ladite compagnie pour l'alimentation de cette ampoule et, d'autre part, les dispositions prises pour assurer la protection contre les rayons X.

Le dispositif destiné à fournir cette tension constante de 400 kv, à plus ou moins 5 pour 100 près, est formé de deux jeux de deux kénotrons en série; dans chaque jeu les kénotrons supportent chacun une tension inverse de 200 kv et assurent la charge de deux condensateurs. Ce système peut être facilement transformé, par modification de quelques connexions, pour fournir une tension pulsatoire dont l'amplitude peut atteindre 600 kv.

En ce qui concerne la chambre de protection, elle est formée d'une ossature en fer sur laquelle sont soudées des plaques de plomb. Les dimensions ont été prévues telles qu'on puisse facilement placer différents appareils à l'intérieur (appareils de mesure de la pression à l'intérieur de l'ampoule à rayons X, du rayonnement X, spectrographe, etc.). Sa hauteur est de 2 m, sa longueur, de 3 m et sa largeur, de 2 m. L'épaisseur des plaques de plomb est variable suivant la position qu'elles occupent par rapport à l'ampoule. Dans la zone peu irradiée, elles ont 6 mm ; dans la zone irradiée cette épaisseur atteint 10 mm. Les antennes sont en porcelaine creuse contenant des isolants lamellaires inclus entre des feuilles métalliques (antennes condensateurs). Elles ont été essayées chacune sous 400 kv. Des fenêtres recouvertes de plusieurs dalles de verre au plomb permettent de suivre le fonctionnement de l'ampoule.

Bibliographie : High voltage cables (Les câbles à haute tension), par P. Dunsheath (1). — Le texte de ce traité à la fois théorique et pratique est celui d'une suite de conférences données par l'auteur à l'University College de Londres. Débutant par un rappel des progrès réalisés dans les transmissions d'énergie par canalisations souterraines et par des considérations techniques et économiques, l'auteur étudie, dans le chapitre suivant, la question des pertes diélectriques et leur influence sur le facteur de puissance. Le quatrième chapitre est consacré à l'examen des efforts auxquels sont soumis les diélectriques et des effets de destruction qui en sont la conséquence pour ces derniers. Le chapitre suivant concerne les propriétés physiques des câbles isolés aux papiers imprégnés. Dans les sixième et septième chapitres sont étudiés divers types de câbles, alors que le suivant traite des densités de courant admissibles et des conditions de stabilité; à cette occasion sont présentées des considérations sur les pertes dans les gaines ainsi que sur la mesure des températures des câbles. Enfin, le neuvième chapitre est relatif aux joints des conducteurs et aux extrémités de câble et le dixième et dernier traite de divers types de câbles de conception spéciale. — R. G.

(1) Un volume, format 22 cm × 14 cm, de 161 pages, avec 117 figures dans le texte, édité par la librairie Isaac Pitman and Sons ltd., Parker street, Kingsway, à Londres W. C. 2. Prix : relié, 10 shillings 6 pence.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Diagrammes vectoriels et repérage des bornes des transformateurs triphasés

Le repérage des bornes des transformateurs triphasés en vue de faciliter le montage de ces appareils lorsque plusieurs d'entre eux doivent être couplés en parallèle a déjà fait l'objet d'un certain nombre de discussions dans les organismes chargés de la normalisation du matériel électrique, notamment la Commission électrotechnique internationale et les comités électrotechniques nationaux. La solution adoptée jusqu'à maintenant en France est celle spécifiée dans la brochure 182 des publications de l'Union des Syndicats de l'Electricité (*). Dans l'article qui suit, l'auteur reprend l'examen de cette question ; il expose les principes sur lesquels doit reposer la normalisation du repérage des bornes pour conduire aux solutions les plus simples. L'examen des diagrammes vectoriels des tensions aux bornes des enroulements des transformateurs le conduit à un nouveau mode de repérage qui constitue, comme le fait ressortir l'auteur, une simplification du procédé en vigueur actuellement. En particulier, les quatre groupes de couplages de la normalisation adoptée se ramènent au nombre de trois seulement avec ce nouveau procédé, ce qui, au point de vue de la réalisation, peut présenter un grand intérêt.

I. **Introduction.** — Les diagrammes vectoriels et le repérage des bornes des transformateurs triphasés font actuellement l'objet d'une réglementation contenue dans la « Brochure 182 » des publications de l'Union des Syndicats de l'Electricité, suivant le texte adopté en date du 6 décembre 1922 (1). Les règles établies ont, en principe, pour but de permettre la comparaison des diverses catégories de transformateurs au point de vue de la possibilité de la marche en parallèle et aussi de faciliter le montage de ces appareils.

Ainsi que nous le verrons, le résultat cherché n'est obtenu qu'assez imparfaitement. Nous nous proposons de reprendre l'exposé de ces questions qui présentent un intérêt croissant en raison du nombre toujours plus grand de transformateurs appelés à marcher en parallèle. Nous nous occuperons seulement de ce fonctionnement à vide et en supposant satisfaites les conditions relatives au rapport de transformation. Nous ne considérerons donc que la question de mise en phase des tensions.

Après avoir rappelé succinctement les conditions à remplir pour assurer ainsi la marche en parallèle des transformateurs, nous traiterons l'étude des diagrammes vectoriels. Nous en déduirons ensuite un procédé rationnel de repérage des bornes et nous terminerons par quelques considérations sur la normalisation des transformateurs.

II. **Diagrammes vectoriels.** — 1. MARCHE EN PARALLÈLE DES TRANSFORMATEURS AU POINT DE VUE VECTORIEL. — Lorsqu'un enroulement triphasé est branché sur un réseau, on peut représenter, d'après les principes de la notation vectorielle, les tensions aux bornes par rapport au point neutre par un système de trois vecteurs décalés de $\frac{2\pi}{3}$ l'un par rapport à l'autre (fig. 1 a). Pour les deux enroulements d'un transformateur, on aura deux ensembles de vecteurs triphasés dont la position relative dépend de conditions que nous examinerons plus loin (fig. 1 b). L'angle de deux vecteurs quelconques

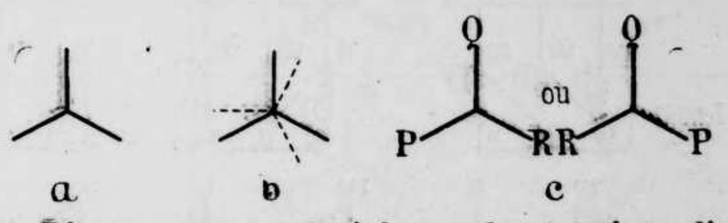


Fig. 1. — Diagrammes vectoriels : a, des tensions d'un système triphasé ; b, des tensions des deux enroulements d'un transformateur ; c, de base.

indique le déphasage relatif dans le temps des tensions des deux bornes correspondantes.

Lorsque plusieurs transformateurs sont destinés à marcher en parallèle, on commence par relier à l'un des jeux de barres générales l'enroulement correspondant de chacun des appareils. Pour que la marche en parallèle se fasse sans courant de circulation, dans ces conditions de branchement, il faut et il suffit que la position relative des deux systèmes de vecteurs triphasés soit la même pour les divers transformateurs.

Les diagrammes vectoriels ont pour but de déterminer, pour un transformateur défini, le décalage de ces vecteurs en partant des forces électromotrices induites dans les différents bobinages et en tenant compte de tous les éléments qui concourent au résultat cherché.

(*) Normalisation des transformateurs. *Brochure 182* de l'Union des Syndicats de l'Electricité et *Revue générale de l'Electricité*, 9 mai 1925, t. XVII, p. 732-737.

(1) *Loc. cit.*

2. Exécution des diagrammes. — Pour tracer correctement les diagrammes vectoriels, il y a lieu de faire un certain nombre de conventions qu'il importe de définir :

a) *Pour le repérage des divers éléments.* — 1° Affecter à chaque colonne, d'une manière déterminée, un repère permettant de distinguer les vecteurs qui s'y rapportent. Nous utiliserons les lettres P, Q, R ; 2° Marquer également les extrémités des divers éléments de bobinage. Les diverses extrémités reliées entre elles peuvent avoir la même dénomination (fig. 2).

b) *Pour la détermination des grandeurs vectorielles.* — 1° Choisir un sens des spires suivant lequel les forces électromotrices induites seront comptées positivement. Ce sens est valable pour les trois colonnes et pour tous les enroulements ; 2° Se donner l'ordre dans lequel les forces électromotrices induites, dans trois bobinages identiques placés sur les trois colonnes, se succèdent dans le temps ; on peut avoir les ordres de succession P, Q, R ou R, Q, P.

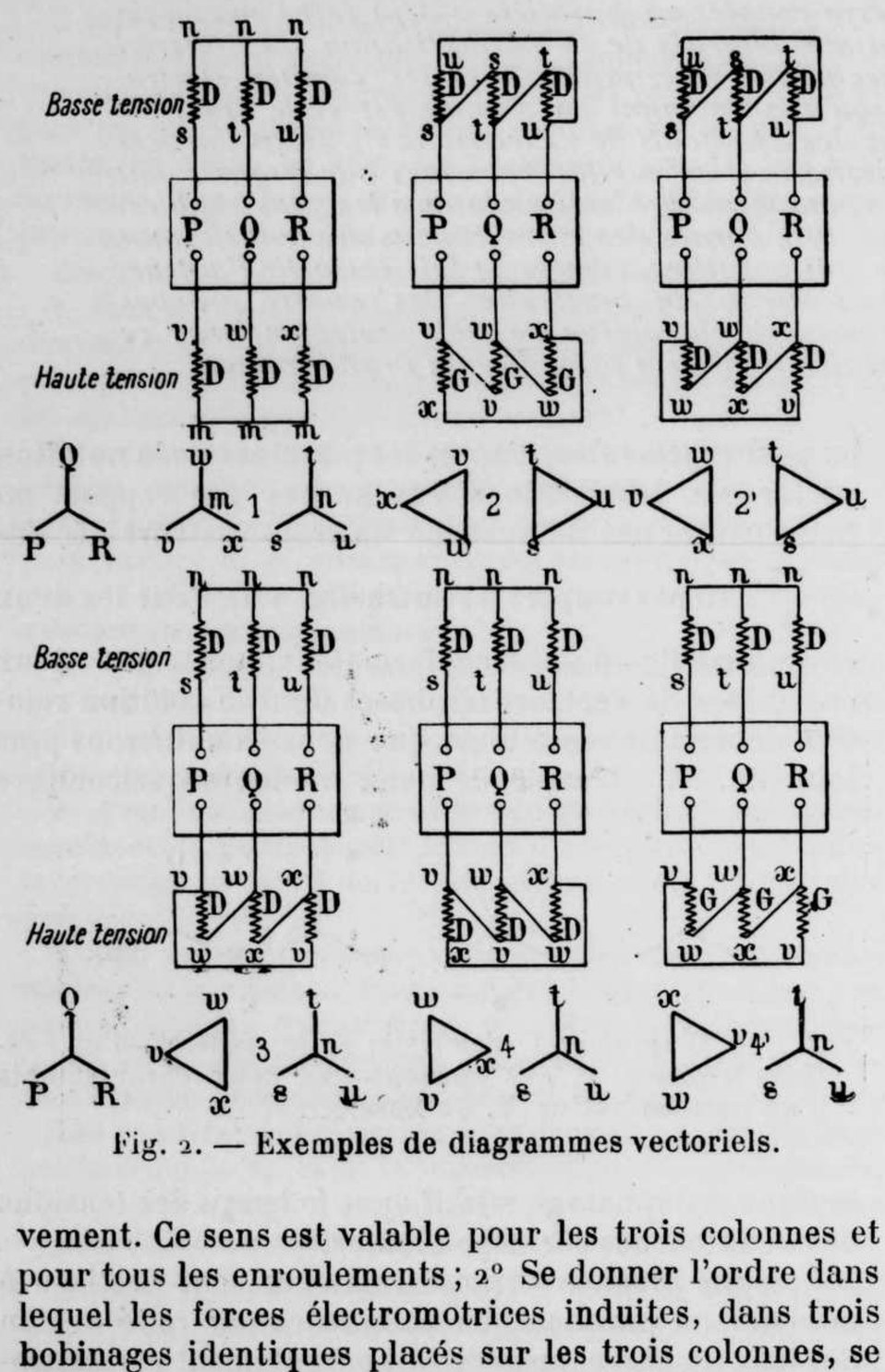


Fig. 2. — Exemples de diagrammes vectoriels.

c) *Pour la représentation des vecteurs.* — 1° Choisir un sens positif de mesure des angles suivant lequel seront mesurés les déphasages dans le temps ; ce sens a été défini pour tous les diagrammes devant être tracés en courant alternatif par les règles internationales. Elles précisent que l'angle correspondant à une avance de phase doit être porté dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre ; 2° Définir un axe et un sens suivant lesquels sera tracé le vecteur représentant une force électromotrice induite dans une jambe de bobinage, appartenant à une colonne déterminée, et mesurée dans le sens positif choisi précédemment. Nous représenterons la force électromotrice relative à la colonne Q par un vecteur vertical dirigé de bas en haut. Les forces électromotrices relatives aux deux autres colonnes, déterminées dans les mêmes conditions, seront représentées par deux vecteurs décalés de $\frac{2\pi}{3}$, en avant et en arrière, sur le précédent. L'affectation de ces deux vecteurs aux colonnes P et R dépend de l'ordre de succession des forces électromotrices admis plus haut. L'ensemble de ces trois vecteurs constitue ce qu'on appelle le diagramme de base. Il existe donc deux diagrammes de base (fig. 1 c).

d) *Conclusion.* — A l'aide de ces conventions, on peut tracer le diagramme vectoriel d'un bobinage triphasé dont on connaît la construction interne, c'est-à-dire : 1° Le sens d'enroulement des divers éléments de bobinage ; 2° Le graphique de montage donnant toutes les connexions entre éléments.

La définition du sens d'enroulement nécessite quelques explications. On emploie généralement les expressions de vis à filet droit et vis à filet gauche qui s'appliquent sans ambiguïté aux bobinages à une couche. Mais lorsqu'il y a plusieurs couches, cette manière de s'exprimer peut entraîner des erreurs.

Or, graphiquement, on ne représente qu'une seule couche. Par définition, nous appellerons sens schématique d'enroulement le sens à attribuer au bobinage à une couche indiqué sur le graphique de montage, pour qu'il soit équivalent, par le sens de la force électromotrice induite, au bobinage complexe qu'il représente.

Il serait souhaitable qu'un symbole normalisé permît d'indiquer ce sens sur les graphiques de montage qui pourraient ainsi être complets. Nous utiliserons dans notre étude les lettres D (droite) et G (gauche).

En ce qui concerne les connexions internes des enroulements, nous ne considérons que les montages usuels, en étoile, en triangle, en zigzag, à branches égales. Nous possédons tous les éléments de construction du diagramme et donnons en figure 2 des exemples de diagrammes obtenus, pour quelques transformateurs déterminés, à l'aide des conventions particulières suivantes : 1° sens positif des forces électromotrices induites : sens inverse des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant les colonnes en bout du côté bornes ; 2° ordre de succession des forces électromotrices P, Q, R.

En partant du diagramme de base, on trace le vecteur de la force électromotrice relatif à chaque élément de bobinage ; il se trouve complètement défini par l'indication des repères des extrémités.

Ces vecteurs sont ensuite additionnés géométriquement ; il suffit de les placer de façon que les repères désignant des points reliés entre eux sur le bobinage se confondent. On obtient ainsi le diagramme des forces électromotrices induites dans le bobinage considéré.

D'autre part, les bornes de sortie sont reliées à des

points du bobinage dont les repères peuvent servir à les désigner provisoirement. Les vecteurs tensions aux bornes se trouvent donc bien définis (fig. 3).

3. Classification. — Au point de vue purement géométrique les diagrammes qu'il est possible d'obtenir

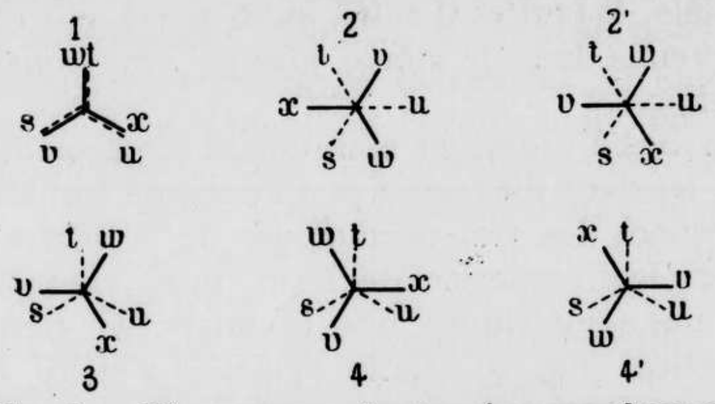


Fig. 3. — Diagrammes des tensions aux bornes correspondant aux diagrammes de la figure 2.

dans tous les cas sont au nombre de huit ne formant d'ailleurs que six catégories distinctes (les enroulements zigzag sont équivalents deux à deux), comme le montre la figure 4.

Le diagramme vectoriel complet d'un transformateur se compose de l'ensemble des diagrammes des deux

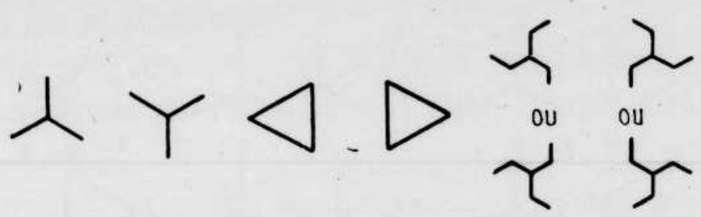


Fig. 4. — Diagrammes vectoriels élémentaires.

enroulements, ce qui donne trente-six combinaisons ; mais, d'une part, on supprime les diagrammes, non employés, utilisant le zigzag du côté de la haute tension ; d'autre part, comme on ne considère, en définitive, que le déphasage relatif des tensions, on peut, à volonté, faire tourner d'un même angle les deux schémas d'un diagramme. Par une rotation de 180° on remarque alors que les diagrammes deviennent équivalents deux à deux (fig. 5).

Il reste donc douze diagrammes types que l'on peut classer en quatre groupes de trois d'après le déphasage relatif des tensions (fig. 6). Ce tableau n'est autre que celui qui figure dans la brochure 182 de l'Union des Syndicats de l'Electricité, mentionnée plus haut. Dans ce tableau, le schéma de gauche est affecté à la haute tension, celui de droite, à la basse tension.

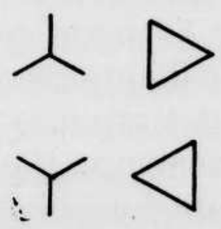


Fig. 5. — Exemple de diagrammes équivalents.

Dans chacun des groupes, le déphasage relatif des tensions est le même, mais varie d'un groupe à l'autre ; on a donc un diagramme des tensions aux bornes par groupe (fig. 7). Les diagrammes sont orientés de telle façon que l'étoile en haute tension ait toujours la même position, ce que l'on peut toujours obtenir par une rotation appropriée. C'est d'ailleurs logique, car cela

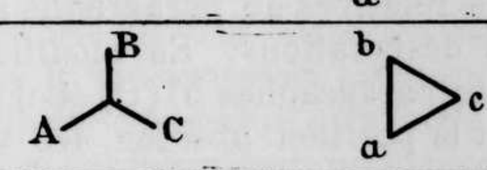
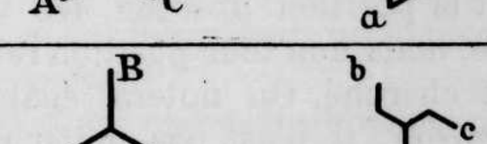
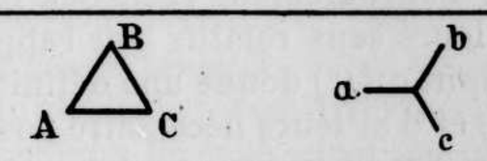
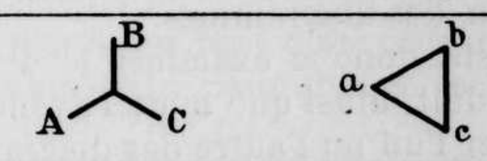
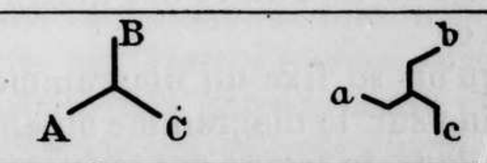
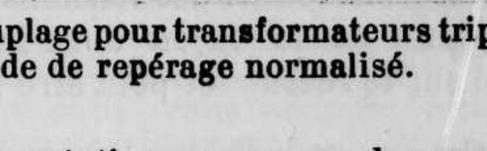
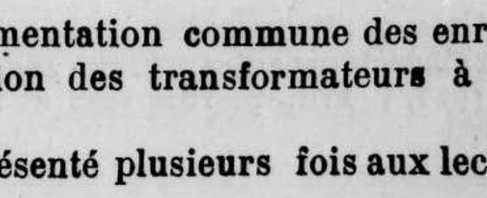
Groupes	N°	Couplages
G1	G 11	
	Normal G 12	
	G 13	
G2	G 21	
	G 22	
	G 23	
G3	Normal G 31	
	G 32	
	Normal G 33	
G4	G 41	
	G 42	
	G 43	

Fig. 6. — Groupes de couplage pour transformateurs triphasés suivant le mode de repérage normalisé.

correspond à une alimentation commune des enroulements à haute tension des transformateurs à comparer.

Ce tableau a été présenté plusieurs fois aux lecteurs

de cette revue avec de légères variantes (1). Pour l'instant, nous ferons abstraction des repères qui y figurent. Il est alors très général et permet de classer tous les

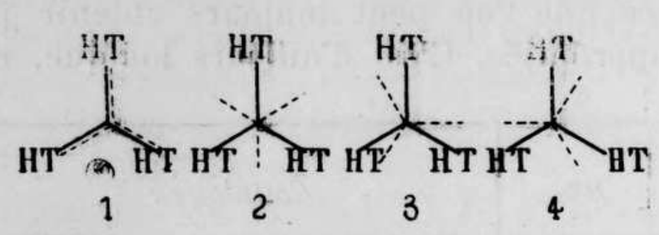


Fig. 7. — Diagrammes des tensions des quatre groupes du tableau représenté en figure 6 : les vecteurs en traits pleins correspondent à la haute tension, ceux en traits ponctués, à la basse tension.

diagrammes usuels indépendamment de toute réglementation et de toute convention particulière ; les diagrammes de la figure 2 en sont un exemple.

Mais l'exécution interne des transformateurs est excessivement variée et l'on arrive ainsi à des schémas équivalents pour des constructions diverses. La différence se traduit généralement par le fait que les bornes placées identiquement sur les transformateurs n'ont pas la même disposition sur les diagrammes. C'est ce que l'on peut constater en comparant sur les figures 2 et 3 les transformateurs 2 et 2′. On voit que ces transformateurs peuvent marcher en parallèle, mais non en reliant des bornes placées identiquement sur le couvercle. Il en est de même pour les transformateurs 4 et 4′.

4. Etude des divers diagrammes d'un transformateur. — Pour tracer un diagramme on fait, comme il est indiqué au début de ce paragraphe, diverses conventions. Il y a lieu d'étudier leur influence sur le résultat obtenu.

Celles relatives au paragraphe a) (1° et 2°) sont de simples désignations. En modifiant les hypothèses faites aux paragraphes b) (1°) et c) (2°), on change simplement la position absolue des vecteurs au moment du tracé, mais non leur position relative qui est le seul résultat cherché. On notera, également, que pour la même raison, il n'est pas indispensable de connaître les sens d'enroulement réels des bobinages, mais seulement leurs sens relatifs par rapport à l'un d'eux. Le paragraphe c) (1°) donne une définition de sens toujours légitime et d'ailleurs nécessaire pour permettre la comparaison des diagrammes.

Il reste donc à examiner le 2° du paragraphe b) qui conduit, ainsi que nous l'avons vu, à la possibilité d'utiliser l'un ou l'autre des diagrammes de base de la figure 1 c.

Lorsqu'on se fixe un diagramme de base défini, on détermine sur le diagramme obtenu un ordre de succession dans le temps des tensions aux bornes. Or, ce sens dépend de la façon dont le transformateur est branché sur le réseau et peut être modifié par changement des connexions extérieures. On fait donc une convention restrictive.

Pour faire une étude générale, il faut bien considérer pour chaque transformateur les deux diagrammes qu'il est possible d'obtenir et qui correspondent aux deux sens d'alimentation.

Pour que deux transformateurs puissent fonctionner en parallèle, il faut et il suffit qu'ils possèdent chacun un diagramme dans le même groupe sans considération d'origine.

Nous avons à examiner maintenant la façon dont se classent les deux diagrammes d'un même transformateur. Prenons les transformateurs de la figure 2 et changeons le diagramme de base ; nous obtenons les diagrammes symétriques des premiers par rapport à l'axe vertical (fig. 8). Cette symétrie s'étend également aux repères.

On se rend mieux compte de la généralité de ce

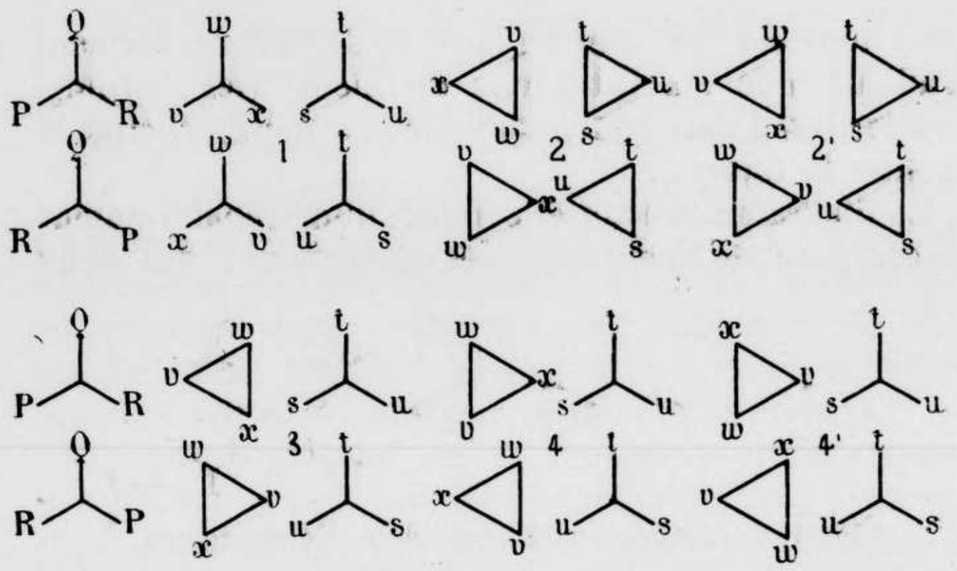


Fig. 8. — Diagrammes obtenus avec les deux diagrammes de base pour les transformateurs de la figure 2.

résultat en remarquant que le deuxième diagramme de base n'est autre que le premier vu par transparence. Les différentes opérations intermédiaires effectuées pour construire le deuxième diagramme sont toujours identiques à celles correspondantes du premier diagramme regardées par transparence. Il en est donc de même du résultat final.

5. Conclusions. — En nous reportant au tableau de la figure 6, en faisant abstraction des repères, et aux exemples de la figure 8, nous pouvons alors constater qu'en modifiant le diagramme de base :

1° Les diagrammes des groupes 1 et 2 ne changent pas de groupe ; les dénominations « groupe 1 » et « groupe 2 » caractérisent donc bien un transformateur indépendamment de toute convention. Les transformateurs de l'un de ces groupes ne peuvent pas marcher en parallèle avec ceux des autres groupes ;

2° Les schémas du groupe 3 se transforment identiquement en schémas du groupe 4 et vice versa. Les transformateurs classés dans ces deux groupes peuvent donc marcher en parallèle, tel est le cas, par exemple, des transformateurs 3, 4, 4′ des figures 2 et 8.

Ils comprennent, d'autre part, des combinaisons

(1) P. Girault ; Marques des bornes des transformateurs et des machines tournantes. *Revue générale de l'Electricité*. 27 juin 1925, t. XVII, p. 1018-1023 et 8 janvier 1927, t. XXI, p. 63-72.

équivalentes de montage des deux enroulements et forment en fait une même famille. Le classement d'un transformateur dans l'un de ces groupes n'est pas aussi nettement défini que pour les groupes 1 et 2. La normalisation actuelle ne prévoit pas les possibilités de marche en parallèle des groupes 3 et 4. En remarquant que les groupes 3 et 4 contiennent tous les montages ayant un enroulement en étoile et un seul, nous formulerons les règles pratiques suivantes : *a*) tous les transformateurs possédant un enroulement, mais un seul, en étoile simple, sont susceptibles de marcher en parallèle ; *b*) si, après avoir alimenté d'un côté deux transformateurs de cette catégorie, on trouve que la mise en parallèle n'est pas possible, il suffit d'intervertir sur l'un d'eux, deux câbles d'alimentation pour que ce fonctionnement puisse être assuré.

Nous sommes, d'autre part, en mesure d'établir un système de repérage des bornes qui tienne compte des résultats que nous venons d'obtenir.

III. **Repérage des bornes.** — 1. Procédé actuel. — Dans la normalisation en vigueur, les bornes sont repérées d'après leur disposition sur le couvercle (fig. 9); mais en outre, elles ont des positions bien définies sur les diagrammes vectoriels comme l'indique le tableau de la figure 6.

Mumi de ces repères, ce tableau suppose l'emploi d'un diagramme de base bien défini, ce qui empêche

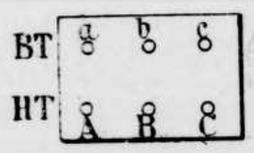


Fig. 9. — Repérage normalisé des bornes de transformateur.

de mettre en évidence la marche possible en parallèle des transformateurs des groupes 3 et 4.

D'autre part, nous avons vu précédemment que des diagrammes équivalents n'avaient pas toujours la même disposition de bornes sur le couvercle. Ainsi, nous donnons, en figure 10, les diagrammes des transformateurs de la figure 2 munis des repères de la normalisation actuelle et ramenés par rotation dans une position qui facilite la comparaison avec ceux du tableau. On voit alors que le tableau de couplage ne représente plus la généralité des diagrammes qu'il est possible d'obtenir. Il forme donc une sélection de montages particuliers et constitue une véritable normalisation de la construction.

Dans ces conditions, le repérage adopté ne peut donc être qu'une cause d'erreurs : 1° dans la marche en parallèle des transformateurs des groupes 3 et 4 (transformateurs 3 et 4 de la figure 10); 2° dans la marche en parallèle des transformateurs dont les diagrammes sont équivalents mais non identiques, par exemple, transformateurs 2 et 2', 4 et 4' de la figure 10.

D'après ce qui précède, nous pouvons conclure qu'un procédé de repérage des bornes destiné à faciliter la mise en parallèle des transformateurs doit, avant tout, se déduire normalement de l'étude des diagrammes vectoriels. La disposition des bornes sur l'appareil est d'importance secondaire. C'est sur la

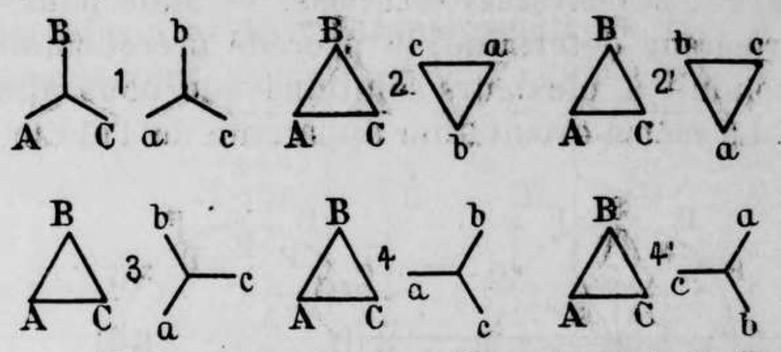


Fig. 10. — Diagrammes des transformateurs de la figure 4 conformes à la normalisation actuelle.

base de ces principes que nous allons établir un système de repérage évitant les inconvénients ci-dessus.

2. Description d'un procédé rationnel de repérage des bornes. — Pour faciliter notre exposé, nous utiliserons les diagrammes des tensions aux bornes de la figure 7. Pour un transformateur défini, les extrémités des vecteurs correspondent chacune à une borne, désignée par un repère provisoire et occupant une position bien déterminée sur l'appareil (fig. 3).

Pratiquement, pour vérifier les possibilités de marche en parallèle de divers transformateurs, on alimente généralement les enroulements à haute tension. Les schémas correspondants prennent tous une orientation identique, mais les vecteurs relatifs à la basse tension présentent un décalage variable d'un groupe à l'autre. Ce décalage servant à déterminer les possibilités de mise en parallèle va également nous permettre de définir le repérage des bornes.

M. List, en Tchécoslovaquie, avait déjà remarqué que l'angle des vecteurs relatifs à la basse tension et de ceux relatifs à la haute tension était toujours un multiple de 30° et pouvait être représenté par l'angle des aiguilles d'une horloge, ce qui fournissait un moyen de désigner les différents groupes (1).

Dans le but plus général de repérer les bornes, nous utiliserons un procédé analogue.

En effet, deux vecteurs quelconques, relatifs à la haute tension ou à la basse tension, sont toujours décalés d'un angle multiple de 30°. Les diverses positions occupées par les vecteurs forment ainsi une étoile à douze branches qui, placée en face d'un cadran de douze lettres, détermine une lettre pour chaque vecteur (fig. 11).

Les désignations ainsi obtenues seront utilisées comme repères définitifs des bornes et remplaceront les indications provisoires. Les lettres seront prises majuscules pour la haute tension, minuscules pour la basse tension. Les bornes de la haute tension seront toujours désignées par les mêmes lettres; dans la disposition du cadran que nous avons adoptée, celles-ci sont les trois premières voyelles A, E, I.

On pourrait naturellement utiliser d'autres disposi-

(1) P. Girault. *Revue générale de l'Electricité*, 8 janvier 1927, loc. cit.

tions pour le cadran et employer d'autres signes que les lettres.

3. Examen des diverses solutions. — Mais pour un transformateur déterminé, le procédé précédemment décrit conduit à plusieurs solutions que nous allons étudier. La même orientation apparente de l'étoile du

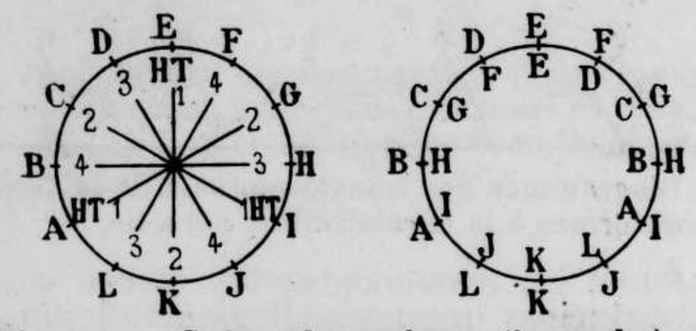


Fig. 11. — Cadran de repérage (à gauche) et double cadran de repérage (à droite).

côté de la haute tension peut être obtenue, avec un diagramme de base défini, pour trois dispositions de bornes. Une borne déterminée peut, en effet, occuper l'un quelconque des trois sommets et être ainsi repérée à volonté par l'une des trois lettres A, E, I. Ceci conduit, pour chaque diagramme de base, à trois solutions comportant d'ailleurs les mêmes marques et ne différant entre elles que par une permutation circulaire des lettres. Il y a donc, en tout, six systèmes de repères correspondant aux divers branchements possibles de la haute tension sur le réseau d'alimentation et indiquant tous les montages réalisables. L'ensemble de ces six solutions formerait donc un système vraiment complet de repérage, mais peu pratique.

On apporte une première simplification en ne retenant que deux solutions, une par diagramme de base. Pour les définir pratiquement, on peut convenir, par exemple, que la lettre E sera affectée à la borne à haute tension du milieu (pour un transformateur symétrique, on peut prendre une borne définie d'une façon quelconque). Dans nos exemples (fig. 2 et 3), le repère provisoire w correspondra au repère définitif E. On obtient ainsi deux ensembles de repères qui, comparés, mettent réellement en évidence les possibilités de marche en parallèle des transformateurs fonctionnant avec l'un ou l'autre des schémas de base.

On remarquera que les divers repères peuvent être déterminés pratiquement d'une façon encore plus simple en n'employant qu'un seul diagramme de base, d'ailleurs quelconque, mais en utilisant un cadran portant deux jeux de repères symétriques (fig. 11, à droite). Ce double cadran donne la correspondance immédiate entre les deux systèmes (fig. 12). Nous donnons (fig. 13) les deux plans de repérage possibles relatifs aux transformateurs de la figure 2. La dualité des repères est une conséquence directe de la possibilité d'alimenter les transformateurs dans les deux sens de successions des tensions aux bornes. La distinction que l'on peut établir entre les deux ensembles comporte inévitablement une part d'arbitraire. Ceci nous conduit à envisager deux systèmes de marquage.

1° La solution la plus logique consiste donc à munir chaque borne des deux repères de la figure 12; pratiquement, les deux ensembles se distingueraient facilement : soit en indiquant séparément les deux repères sur la plaque signalétique, soit en apposant des indications de couleurs différentes;

2° Une solution plus simple consiste à faire un choix judicieux mais forcément arbitraire entre les deux repérages de la figure 12; les groupes 1 et 2 possèdent

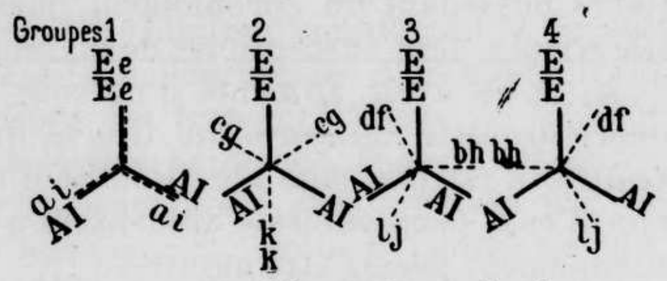


Fig. 12. — Double repérage des bornes des différents groupes.

respectivement les mêmes lettres dans les deux cas; on peut donc prendre indifféremment l'un ou l'autre des deux ensembles. Pour mettre en évidence les possibilités de marche en parallèle des groupes 3 et 4, on doit avoir sur la basse tension les mêmes marques. Ceci conduit à choisir pour ces groupes des ensembles de repères ne correspondant pas au même cadran; par exemple, on décidera que les diagrammes du groupe 3

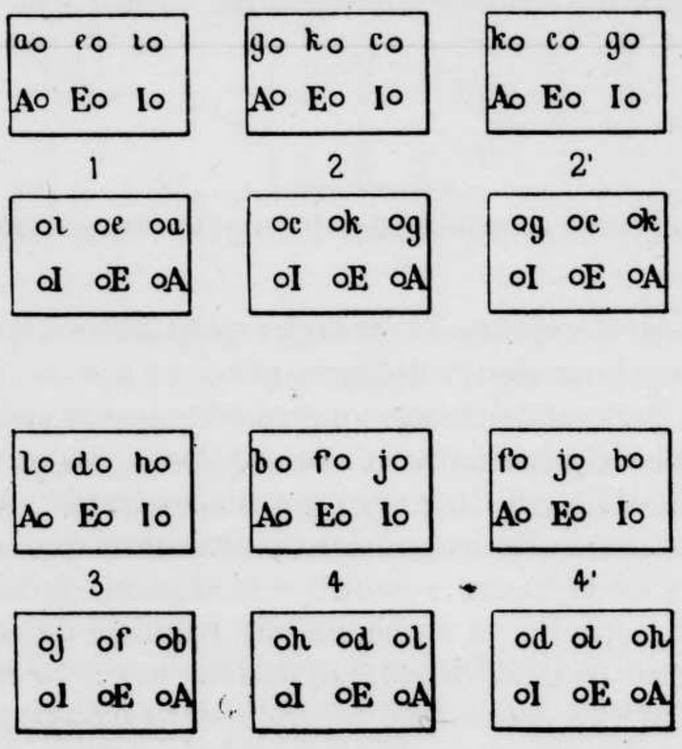


Fig. 13. — Double repérage des bornes des transformateurs de la figure 2.

seront repérés sur le cadran normal et ceux du groupe 4 sur le cadran symétrique; on obtient alors toujours les mêmes repères pour les deux groupes. Grâce à certaines conventions, on peut donc n'avoir qu'une lettre par borne. Mais le procédé paraît moins naturel que le précédent.

4. Avantages du système. — Quel que soit le système de repérage adopté parmi les deux cas envisagés, il présente les caractéristiques suivantes :

1° Deux transformateurs possédant les mêmes mar-

ques peuvent marcher en parallèle. Ce fonctionnement peut être assuré en réunissant les bornes ayant le même repère; dans le cas du double repérage, les marques des bornes d'un transformateur doivent être prises dans le même ensemble, mais celui-ci peut être quelconque;

2° Deux transformateurs ne possédant pas les mêmes marques ne peuvent pas marcher en parallèle. Le résultat cherché est donc bien atteint.

Le système proposé s'applique à tous les schémas de montage et laisse au tableau de couplage son entière généralité. Il est absolument indépendant des conventions ayant servi à l'établissement des diagrammes vectoriels et échappe ainsi aux erreurs d'interprétation. L'emploi même d'un sens positif des déphasages différent de celui défini par les règles internationales conduit à un marquage correct. Il est également indépendant de la position des bornes et des colonnes et peut donc être étendu immédiatement à des catégories d'appareils auxquelles la normalisation actuelle ne s'adapte que difficilement, en raison de leur construction. De plus, il peut être appliqué aux transformateurs existants. On peut d'ailleurs déterminer expérimentalement les repères lorsqu'on ne connaît pas la construction interne de l'appareil. Il peut être compris et utilisé par le personnel le moins exercé et dispense de l'emploi des diagrammes vectoriels dans l'utilisation des transformateurs.

Bien qu'établi surtout pour les transformateurs triphasés il s'adapte également aux enroulements monophasés, diphasés, hexaphasés. On peut l'étendre même, sans difficultés, à des transformateurs spéciaux comme les groupes Scott et les montages Leblanc.

Nous donnons, en figure 14, un exemple correspondant à un groupe Scott. Nous possédons donc, en définitive, un instrument de comparaison très simple et d'une grande généralité.

IV. **Normalisation de la construction.** — 1. Réglementation actuelle. — La normalisation actuelle a pour but principal d'obtenir une grande symétrie de montage extérieur des transformateurs. Celle-ci a été réalisée non seulement pour des appareils de même diagramme, mais encore pour tous les transformateurs d'un même groupe. Ceci entraîne, ainsi que nous l'avons vu, à une grande limitation dans les montages internes, mais ne constitue nullement une simplification au point de vue de la construction. Au contraire, en examinant les douze diagrammes, on constate que l'on pourrait obtenir des schémas équivalents d'une façon plus simple. Ainsi, en figure 2, le transformateur non normal 2′ est plus simple à réaliser que le transformateur normal 2. On constate aussi que les montages zigzag diffèrent suivant que la haute tension est en étoile ou en triangle.

Donc en ce qui concerne la construction, le résultat est contraire à celui qui est cherché en général par toute normalisation. Mais l'avantage obtenu de la symétrie de montage est lui-même discutable. Il ne faut pas oublier, en effet, qu'en mettant en parallèle des appareils toujours identiques et connectés borne à borne, on ajoute, au lieu de compenser, les inégalités de puissance magnétisante consommée sur les trois phases par les divers transformateurs. L'on n'évite cet inconvénient, souvent sérieux, qu'en faisant des permutations de bornes, ce qui enlève alors toute symétrie à l'installation.

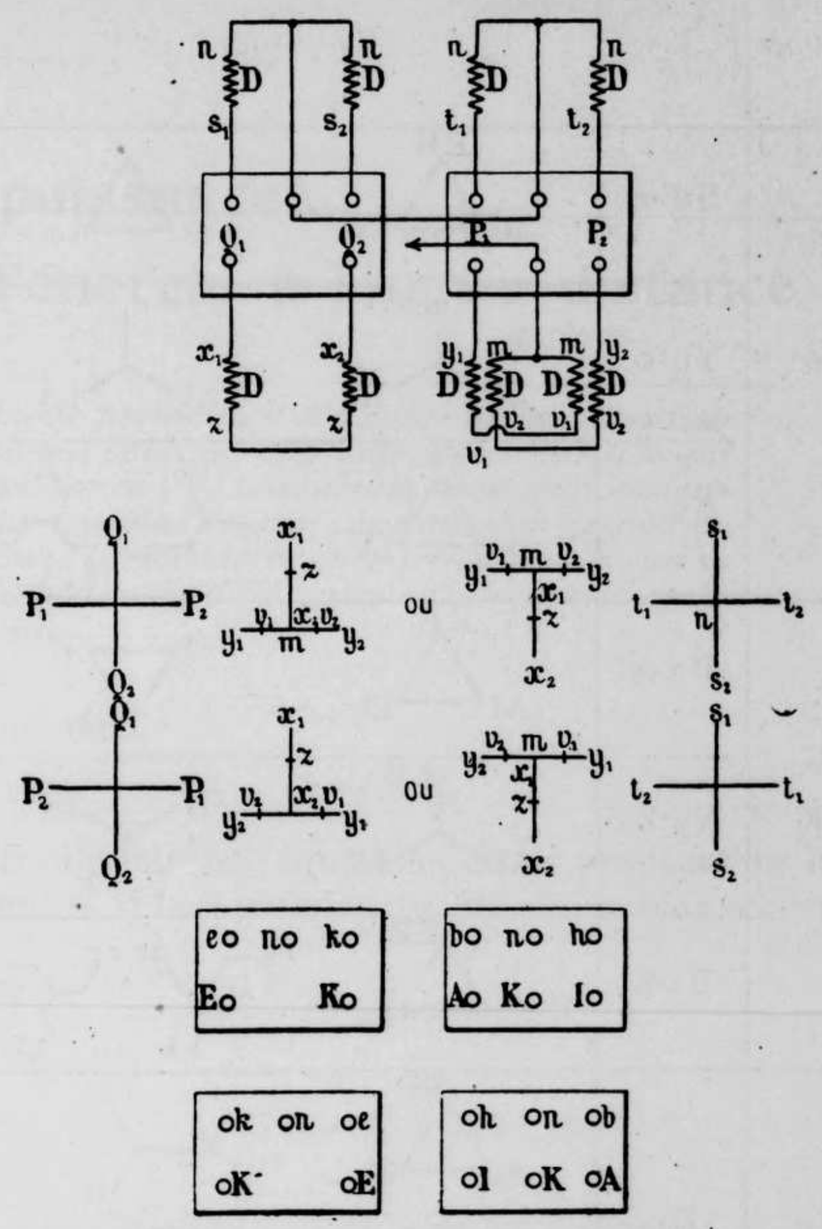


Fig. 14. — Diagrammes et plans de repérage d'un groupe de transformateurs suivant le montage Scott : les plans de repérage des deux transformateurs monophasés peuvent être combinés entre eux d'une façon quelconque.

Nous avons vu, d'autre part, que les transformateurs des groupes 3 et 4 ne peuvent marcher en parallèle qu'en inversant les bornes de l'un d'eux.

De tout ceci il résulte que la symétrie de montage obtenue constitue un avantage plus apparent que réel.

2. Influence de l'emploi du nouveau système de repérage sur la normalisation. — La présentation du tableau de couplage peut d'abord être modifiée de façon à tenir compte de l'ensemble des résultats obtenus.

Nous donnons en figure 15 un exemple dans lequel : 1° afin de conserver la plus grande généralité, les bornes portent les deux repères possibles ; 2° les diagrammes sont désignés par les symboles internationaux indiquant les deux montages en haute tension et en basse tension ; 3° les diagrammes des groupes 3 et 4 sont réunis par équivalence en un même groupe ; 4° les groupes sont désignés par des lettres caractéristi-

ques figurant dans les repères relatifs à la basse tension.

Sur la plaque signalétique, le diagramme vectoriel devient inutile. Il suffirait d'y porter les deux symboles des montages de la haute tension et de la basse ten-

Groupes		Couplages
Ge	Dd-e	EE AI IA — ee ai ia
	Yy-e	EE AI IA — ee ai ia
	Dz-e	EE AI IA — ee ai ia ou ai ia
Gk	Dd-k	EE AI IA — cg gc kk
	Yy-k	EE AI IA — cg gc kk
	Dz-k	EE AI IA — cg gc kk ou cg gc kk
Gbh	Dy	EE AI IA — fd bh jl ; EE AI IA — df hb lj
	Yd	EE AI IA — fd bh jl ; EE AI IA — df hb lj
	Yz	EE AI IA — fd bh jl ou fd bh jl ; EE AI IA — df hb lj ou df hb lj

Fig. 15. — Groupes de couplage pour transformateurs triphasés suivant le mode de repérage proposé.

sion et les indications de repérage si elles ne sont pas marquées d'une autre manière.

Au point de vue de la réalisation, nous avons vu qu'aucune restriction n'était introduite par le procédé de repérage qui laisse donc entière la question de la normalisation de la construction. Si nous considérons deux transformateurs de diagrammes équivalents, mais de montages différents, nous constatons, et ceci est général, que la seule différence extérieure réside dans la disposition des bornes de la basse tension, par exemple transformateurs 2 et 2′ et 4 et 4′ de la figure 13.

On peut donc se demander maintenant si, avec l'emploi du nouveau procédé, il y aurait encore vraiment intérêt à limiter la réalisation interne des transformateurs. D'après ce que nous avons vu, il ne semble plus que cela soit indispensable et que ce n'est pas toujours souhaitable ; de sorte que la véritable normalisation,

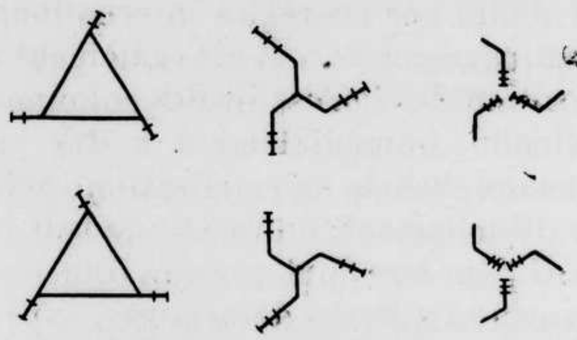


Fig. 16. — Schémas de montages défectueux des prises supplémentaires.

c'est-à-dire la simplification, consisterait peut-être à ne pas réglementer la construction des transformateurs.

Ce serait un avantage de plus, et non le moindre, à l'actif du système de repérage préconisé. Toutefois, il est une question demandant, au contraire, à être précisée plus complètement qu'elle ne l'est actuellement. C'est, ainsi que nous allons le voir, celle du montage des prises supplémentaires.

3. Prises supplémentaires. — La disposition des prises supplémentaires est susceptible d'entraîner des difficultés dans la marche en parallèle des transformateurs. Elles conduisent, en effet, parfois à envisager des mon-

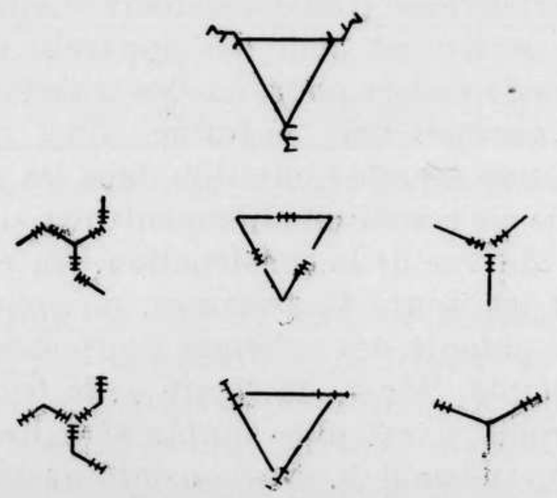


Fig. 17. — Schémas de montages corrects des prises supplémentaires.

tages qui s'écartent quelque peu des montages théoriques envisagés : étoile, triangle, zigzag à branches égales. Ainsi on emploie parfois des dispositions telles

que celles de la figure 16. On voit facilement, sur cette dernière, que les enroulements du premier rang ne peuvent marcher en parallèle avec ceux du deuxième rang que sur l'une des prises. Sur les autres prises, le fonctionnement sera impossible. Cet inconvénient se présente d'une façon générale pour tous les montages qui ne donnent pas des tensions en phase sur les différentes prises d'une même sortie. Ceux-ci devraient donc être proscrits.

Nous donnons en figure 17, un certain nombre de montages corrects des prises supplémentaires.

F. Fleck,
Ingénieur à la Compagnie générale électrique de Nancy.

Diagrammes des puissances dans les lignes de transmission d'énergie à longue distance

L'auteur, qui a exposé dans ces colonnes (*) une méthode permettant d'étudier la propagation des tensions et des courants sur les lignes de transmission d'énergie, applique, dans l'article qui suit, cette méthode au cas de la propagation de la puissance (**). L'analogie des expressions obtenues pour cette puissance avec celles relatives aux tensions et aux courants lui permet de rapprocher la représentation graphique des phénomènes. Il considère, en particulier, ce qui se passe en un point de séparation entre deux circuits d'impédances différentes et retrouve le coefficient de réflexion défini pour les tensions et les courants.

I. **Introduction.** — Dans les articles que nous avons publiés dans cette revue (1) sur cette question, nous avons considéré la propagation des ondes sinusoïdales des tensions et des courants dans les lignes de transmission d'énergie. Nous nous proposons de considérer dans cette étude la propagation des ondes des puissances le long de la ligne et les phénomènes qui se produisent aux points de séparation entre deux parties de circuit d'impédances caractéristiques différentes.

II. **Equations de la propagation des puissances le long d'une ligne de transmission d'énergie.** — Soit

$$V = V_m e^{j(\omega t+\xi)}$$

la tension au point arbitraire de la ligne et

$$I = I_m e^{j\omega t}$$

le courant en ce même point; la puissance est égale à

$$P = VI = V_m I_m e^{j(2\omega t+\xi)} = P_m e^{j(2\omega t+\xi)}.$$

On voit donc que la puissance est une quantité complexe dont le module est

$$P_m = V_m I_m$$

et l'argument,

$$2\omega t + \xi.$$

Pour obtenir les équations de la propagation des puissances, il faut prendre les équations bien connues

$$\left.\begin{aligned} -\frac{dV}{dx} &= (R + j\omega L) I \\ -\frac{dI}{dx} &= (G + j\omega C) V \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

En multipliant la première de ces équations par I, la seconde par V et en additionnant les résultats, on obtient

$$-\frac{d\,VI}{dx} = -\frac{dP}{dx} = (R + j\omega L) I^2 + (G + j\omega C) V^2. \qquad (2)$$

En multipliant encore la première de ces équations par V, la seconde par I et additionnant les résultats on obtient, après quelques simplifications,

$$\left.\begin{aligned} &-\frac{d}{dx}[(R + j\omega L) I^2 + (G + j\omega C) V^2] \\ &= 4(R + j\omega L)(G + j\omega C) P. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

En posant

$$W = (R + j\omega L) I^2 + (G + j\omega C) V^2, \qquad (4)$$

les équations (2) et (3) deviennent

$$\left.\begin{aligned} -\frac{dP}{dx} &= W \\ -\frac{dW}{dx} &= 4(R + j\omega L)(G + j\omega C) P. \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

(*) A.-K. Kotelnikoff ; Diagrammes des tensions et des courants dans les lignes de transmission d'énergie à longue distance. *Revue générale de l'Electricité,* 21 mai 1927, t. XXI, p. 813-820. — Le coefficient de réflexion dans les lignes de transmission d'énergie électrique. *Revue générale de l'Electricité,* 14 avril 1928, t. XXIII, p. 654-656.

(**) Rappelons que l'étude de la propagation de la puissance a conduit M. P. Boucherot à une interprétation physique exposée dans la *Revue générale de l'Electricité,* 7 octobre et 18 novembre 1922, t. XII, p. 499-505 et 755-763.

(1) *Loc. cit.*

Ces équations ne sont pas faciles à interpréter physiquement ni graphiquement. On en obtient la transformation en multipliant et divisant la quantité W par l'expression $2(R + j\omega L)$; on a ainsi

$$-\frac{dP}{dx} = \frac{W}{2(R+j\omega L)} \times 2(R + j\omega L),$$

$$-2(R+j\omega L) \times \frac{d\frac{W}{2(R+j\omega L)}}{dx} = 4(R+j\omega L)(G+j\omega C)P.$$

Si l'on pose

$$\Gamma = \frac{W}{2(R + j\omega L)},$$

ces dernières équations deviennent

$$\left.\begin{aligned} -\frac{dP}{dx} &= 2(R+j\omega L)\Gamma \\ -\frac{d\Gamma}{dx} &= 2(G+j\omega C)P \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Ces deux équations sont celles de la propagation le long de la ligne de deux vecteurs représentant les grandeurs définies par les relations

$$\left.\begin{aligned} P &= VI = V_m I_m e^{j(2\omega t+\xi)}, \\ \Gamma &= \frac{(G+j\omega C)V^2+(R+j\omega L)I^2}{2(R+j\omega L)} = \frac{1}{2}\left[\frac{V^2}{Z_1^2}+I^2\right] \\ \Gamma_1 &= \frac{1}{2}\left[\frac{V_m^2}{Z_{1m}^2} e^{j(2\omega t+2\xi+2\varphi)} + I^2_m e^{j2\omega t}\right]. \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Le premier vecteur P est celui de la puissance qui se propage le long de la ligne vers l'extrémité réceptrice, le second, Γ; est un vecteur auxiliaire qui a la dimension de

$$[I^2] = [LMT^{-2}].$$

On verra plus loin la nature physique de ce vecteur.

III. **Expressions analytiques des puissances dans les lignes de transmission d'énergie.** — La résolution des équations (6) donne

$$\left.\begin{aligned} P &= Ae^{-2ax} + Be^{+2ax} \\ \Gamma &= \frac{1}{Z_1}\left(Ae^{-2ax} - Be^{+2ax}\right) \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

en posant,

$$\left.\begin{aligned} a &= \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} \\ Z_1 &= \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} = Z_{1m} e^{j(-\varphi)}, \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

c'est-à-dire en reprenant les mêmes désignations que dans le cas de la propagation des tensions et des courants.

Définissons les constantes arbitraires en posant $x = \infty$; on a $B = 0$; pour les lignes uniformes et infinies on a donc

$$\left.\begin{aligned} P &= Ae^{-2ax} \\ \Gamma &= \frac{A}{Z_1} e^{-2ax}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

En posant $x = 0$ on a

$$P_{x=0} = A = P_\Delta$$

$$\Gamma_{x=0} = \frac{A}{Z_1}.$$

On voit que la constante A est égale à la valeur de la puissance au départ de la ligne uniforme et infinie, c'est-à-dire,

$$A = P_\Delta. \quad (11)$$

En remplaçant A par cette valeur dans les équations (10). elles deviennent

$$\left.\begin{aligned} P &= P_\Delta e^{-2ax} \\ \Gamma &= \frac{P_\Delta}{Z_1} e^{-2ax} = \Gamma_\Delta e^{-2ax} \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

d'où

$$P = \Gamma Z_1.$$

Ces expressions sont tout à fait analogues à celles établies pour la propagation des tensions et des courants avec cette seule différence que la constante de propagation a est doublée.

Définissons maintenant la seconde constante B pour les lignes finies. Si l'onde de la puissance, en se propageant dans la ligne de caractéristique Z_1, rencontre le point de séparation ($x = l$) de cette ligne et de celle de caractéristique Z_2, on déduit des expressions (8) pour $x = l$,

$$P_1 = Ae^{-2al} + Be^{+2al}$$

$$\Gamma_1 = \frac{1}{Z_1}\left(Ae^{-2al} - Be^{+2al}\right)$$

$$\frac{Ae^{-2al} + Be^{+2al}}{Ae^{-2al} - Be^{+2al}} = \frac{P_1}{\Gamma_1 Z_1}.$$

En reprenant les équations (7) et en notant que pour le point considéré

$$\frac{V_1}{I_1} = Z_2$$

on a

$$\frac{Ae^{-2al} + Be^{+2al}}{Ae^{-2al} - Be^{+2al}} = \frac{P_1}{\Gamma_1 Z_1} = \frac{2Z_2 Z_1}{Z_2^2 + Z_1^2};$$

d'où l'on déduit

$$B = -A\left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2 e^{-4al}.$$

En posant $A = P_0$ (1) et en remarquant que

$$\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = K,$$

K étant le coefficient de réflexion au point de séparation que nous avons défini pour les mêmes phénomènes en considérant la propagation des tensions et des courants, on a

$$B = -P_0 K^2 e^{-4al}. \qquad (13)$$

En remplaçant dans les expressions (8) A et B par leurs valeurs données par les relations (11) et (13), on a

$$\left.\begin{aligned} P &= P_0 e^{-2ax} - P_0 K^2 e^{-2a(2l-x)} \\ \Gamma &= \frac{1}{Z_1}\left[P_0 e^{-2ax} + P_0 K^2 e^{-2a(2l-x)}\right] \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Ces équations sont relatives au point choisi arbitrairement. Pour l'extrémité du départ ($x = 0$) on a

$$\left.\begin{aligned} P_g &= P_0\left(1 - K^2 e^{-4al}\right) \\ \Gamma_g &= \frac{P_0}{Z_1}\left(1 + K^2 e^{-4al}\right). \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

Pour l'extrémité de l'arrivée ($x = l$) on a

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= P_0 e^{-2al}\left(1 - K^2\right) \\ \Gamma_1 &= \frac{P_0 e^{-2al}}{Z_1}\left(1 + K^2\right). \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

On voit que les expressions obtenues sont presque identiques à celles qui ont été établies pour la propagation des tensions et des courants ; l'interprétation physique, donnée des phénomènes dans ce dernier cas, s'applique donc à ceux de la propagation des puissances.

IV. **Interprétation physique de la solution.** — En représentant les expressions (16) par la forme

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= I_1^2 Z_2 = P_0 e^{-2al} - K^2 P_0 e^{-2al} \\ \Gamma_1 Z_1 &= P_0 e^{-2al} + K^2 P_0 e^{-2al} \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

on voit que l'état résultant des puissances est le résultat de la superposition de deux ondes : l'onde de la puissance pénétrante (directe, incidente) $P_0 e^{-2al}$ et l'onde de la puissance au point de séparation, puissance réfléchie, $K^2 P_0 e^{-2al}$.

L'onde de la puissance pénétrante, en passant au delà du point de séparation (fig. 1), ne varie pas et continue à se propager dans la même direction qu'auparavant, mais elle provoque l'apparition de l'onde de la puissance au point de séparation, qui est égale à $K^2 P_0 e^{-2al}$. Cette onde se propage dans deux directions opposées

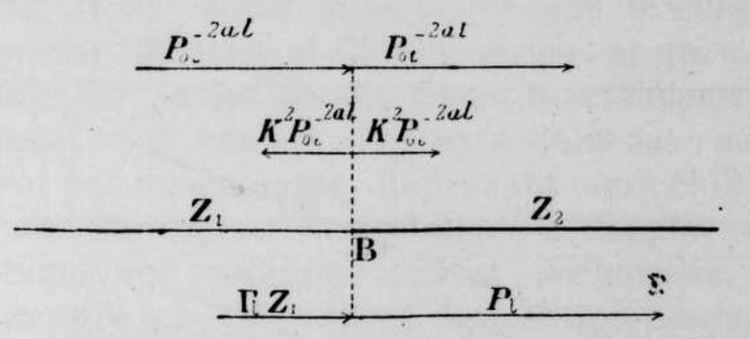


Fig. 1. — Représentation des directions des puissances pénétrante et de séparation au point de séparation.

de part et d'autre du point de séparation, en formant, avec la puissance pénétrante, les puissances résultantes de chaque côté du point où elle prend naissance.

Les deux ondes des puissances pénétrantes se propagent le long de la ligne comme si elle était indéfinie. Ainsi, dans les expressions (17), on a les puissances absorbées de part et d'autre du point de séparation. On peut représenter ces expressions sous une forme qui donne l'image du phénomène au point de séparation non seulement qualitativement, mais encore quantitativement ; il suffit d'écrire

$$\left.\begin{aligned} P_{av} &= P_0 e^{-2al} - K^2 P_0 e^{-2al} \\ P_{arr} &= P_0 e^{-2al} + K^2 P_0 e^{-2al} \end{aligned}\right\} \qquad (18)$$

où $P_0 e^{-2al}$ est la puissance pénétrante ; P_{av}, la puissance absorbée en avant du point de séparation et P_{arr}, celle absorbée à l'arrière de ce point.

V. **Construction du diagramme des puissances.** — Le principe fondamental de la construction est le même que dans le cas des tensions et des courants. On construit d'abord le diagramme (du point de séparation) pour les tensions et les courants, c'est-à-dire le diagramme POG (fig. 2) où

$$OP = Z_1 = Z_{1m} e^{j(-\varphi)}$$

est l'impédance caractéristique de la ligne ;

$$OG = Z_2 = Z_{2m} e^{j\psi},$$

l'impédance du récepteur ; avec

module de $$K = \frac{IG}{OI} = \frac{IP}{O};$$

(1) Cette quantité P_0 ainsi que la quantité P_Δ sont analogues aux quantités E_0 et E_Δ ; voir A.-K. Kotelnikoff ; Méthode de calcul de la tension et du courant sur les lignes de transmission d'énergie. *Revue générale de l'Electricité*, 19 mai 1928, t. XXIII, p. 860-863.

tandis que l'argument θ est représenté par l'angle TIG. On a de plus

$$\text{angle POG} = [(\pm\psi) - (\pm\varphi)].$$

C'est le diagramme des tensions et des courants au point de séparation. Pour construire celui des puissances, on peut procéder de la manière suivante : on trace la ligne droite $P_1 G_1$, l'angle TIP_1 étant égal à 2θ,

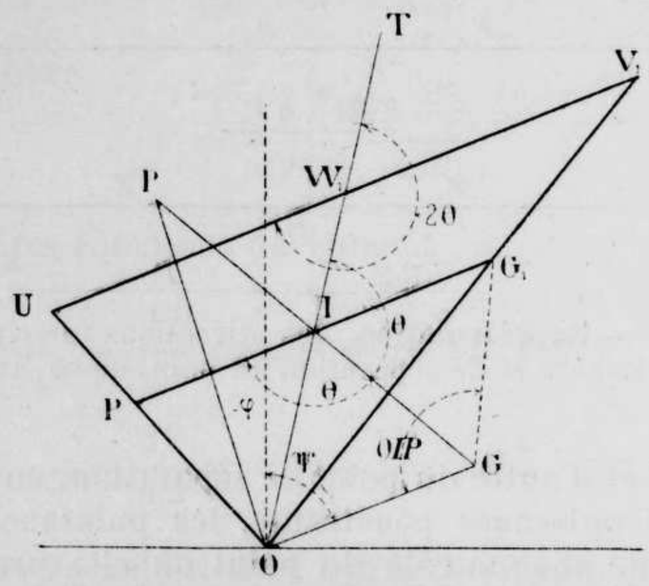


Fig. 2. — Construction du diagramme des puissances à l'arrivée d'une ligne de transmission d'énergie en tenant compte d'un point de séparation.

puis on construit l'angle OGG_1 qui doit être égal à l'angle OIP (fig. 2). Alors

$$OG_1 = OI\,(1 - K^2); \qquad OP_1 = OI\,(1 + K^2).$$

Ainsi, on a le diagramme des puissances au point de séparation : c'est le diagramme P_1OG_1. Nous laissons de côté les démonstrations qui sont d'ailleurs extrêmement faciles.

Pour la détermination pratique des ondes des puissances on peut procéder de la même manière que pour celle des tensions et des courants.

Si la valeur de la puissance résultante est connue, on la représente par le vecteur OV_1 à une échelle déterminée, sur la ligne OG_1. On construit alors le triangle U_1OV_1, semblable au triangle P_1OG_1 et on a

$$OW_1 = P_0\,e^{-2al},$$

puissance pénétrante au point de séparation (à l'arrivée);

$$W_1V_1 = -K^2P_0\,e^{-2al},$$

puissance au point de séparation absorbée en avant;

$$W_1U_1 = +K^2P_0\,e^{-2al},$$

puissance au point de séparation absorbée en arrière;

$$OV_1 = P_{av},$$

puissance résultante absorbée en avant;
$OU_1 = P_{arr}$, puissance résultante absorbée en arrière au même point.

Tel est le diagramme relatif à l'extrémité de la ligne vers le récepteur. Celui se rapportant à l'extrémité du départ a le même aspect, mais le module du vecteur de la puissance pénétrante OW'_1, qui est égale, à l'arrivée, à OW_1, est égal, au départ, à (fig. 3)

$$OW'_1 = OW_1 \times e^{+2al}$$

et la direction de ce vecteur est définie par l'angle $2\beta l$. De plus, le module du vecteur de la puissance au

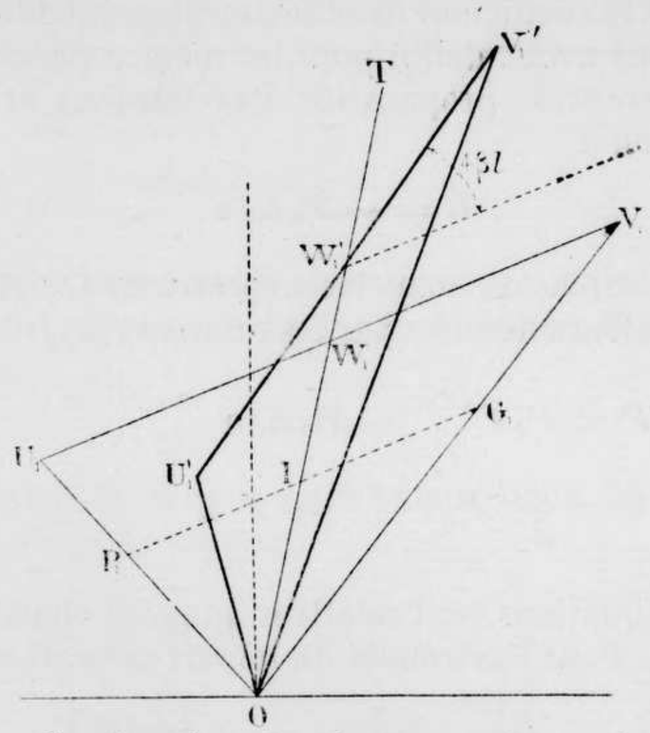


Fig. 3. — Construction du diagramme des puissances au départ d'une ligne de transmission d'énergie en tenant compte d'un point de séparation.

point de séparation $W'_1V'_1$, qui est égal, à l'arrivée, à W_1V_1, est égale, au départ, à

$$W'_1V'_1 = W_1V_1\,e^{-2al}$$

et il existe un changement de direction déterminée par l'angle $\pi - 2\beta l$. Ainsi, l'angle formé par W_1V_1 et $W'_1V'_1$ doit être égal à $4\beta l$ et celui entre la puissance pénétrante OW'_1 et la puissance au point de séparation $W'_1V'_1$, devient égal à $TIG_1 - 4\beta l$.

En réunissant (fig. 3) les points U'_1 et V'_1 avec le point O, on a le diagramme correspondant à l'extrémité initiale de la ligne, où, à la même échelle qu'auparavant, on a

$$OV'_1 = P_{g,av},$$

puissance résultante absorbée en avant au départ,

$$OU'_1 = P_{g,arr},$$

puissance résultante absorbée en arrière au point considéré.

Les constructions que nous avons examinées sont applicables au cas du régime permanent; pour les régimes transitoires, il est possible de construire, sur les mêmes règles, les diagrammes que nous avons donnés pour les tensions et les courants dans l'article précité.

A.-K. KOTELNIKOFF,
Directeur de la chaire des Recherches scientifiques d'électrotechnique à Kiev (Ukraine).

Sur la théorie de l'accumulateur au plomb

L'auteur rend compte dans cet article d'une série de nouveaux essais entrepris par M. Ernesto Denina, en vue d'apporter une contribution à la théorie de l'accumulateur au plomb. Les résultats relatifs aux variations de poids de la matière active positive et ceux obtenus dans la détermination de la chaleur de réaction confirment la théorie de la double sulfatation.

Dans un précédent article (1), nous avons mentionné un travail fait en Italie par Ernesto Denina et Arturo Frates et d'après lequel les potentiels mesurés avec l'électrode auxiliaire au sulfate mercureux des mélanges PbO^2 — $PbSO^4$ et Pb — $PbSO^4$ obtenus chimiquement sont respectivemement les mêmes que ceux des plaques positives et négatives de l'accumulateur au plomb.

En collaboration avec les docteurs Ferrero et Corinaldi et avec l'ingénieur Frates, Ernesto Denina a entrepris de nouveaux essais sur l'accumulateur au plomb (2). Nous les résumerons ici.

I. **Détermination de la variation de poids de la matière active positive.** — Une première série d'essais a consisté à déterminer expérimentalement la variation de poids de la matière active positive pendant la décharge. On se rappelle que Ch. Féry et Ch. Chéneveau (3) avaient déjà effectué des expériences de cette nature et qu'ils en avaient conclu que la variation de poids ainsi mesurée ne s'accordait ni avec la théorie de la double sulfatation ni avec leur théorie nouvelle. Nous avons signalé (1) que le dispositif employé par Ch. Féry et Ch. Chéneveau, et qui consistait à faire les pesées des électrodes dans l'électrolyte, comportait des causes d'erreurs dont les auteurs n'avaient pas tenu compte. Reprenant leurs chiffres et appliquant les corrections relatives à l'augmentation de volume des matières actives déchargées, nous avons montré que ces chiffres donnent un accord très satisfaisant avec la théorie de la double sulfatation.

Les expérimentateurs italiens évitent ces causes d'erreur en opérant de la manière suivante : l'électrode positive est constituée par la surface interne d'une capsule de platine recouverte de peroxyde de plomb (par l'électrolyse du nitrate de plomb). Les pesées se font directement sur la capsule lavée et séchée, avant et après décharge. Pour effectuer cette dernière, la capsule est remplie d'électrolyte sulfurique et on y plonge une électrode négative d'accumulateur de capacité supérieure à celle de l'électrode positive.

Le tableau I donne le résultat de quelques expériences choisies parmi un grand nombre d'essais ayant toujours montré des résultats concordants.

Tableau I. — *Quelques résultats expérimentaux.*

TENSION AUX BORNES V	QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ DÉBITÉE A-h	AUGMENTATION DE POIDS mesurée g	AUGMENTATION DE POIDS calculée d'après la double sulfatation g	OBSERVATIONS
1,88 à 1,84	0,1391	0,1684	0,167	H^2SO^4 de poids spécifique 1,22.
1,65 à 1,62	0,0987	0,1181	0,1184	H^2SO^4 de poids spécifique 1,035.
1,83 à 0,51	0,1187	0,0104	0,142	H^2SO^4 de poids spécifique 1,22, Capsule déjà déchargée.
0,11 à 0,10	0,4301	0,018	0,515	H^2SO^4 de poids spécifique 1,22, Capsule déjà déchargée, Dégagement notable d'hydrogène.

On peut en conclure que, pendant la décharge utile de l'accumulateur, l'augmentation de poids de la matière active positive correspond exactement à la théorie de la double sulfatation. Ce n'est que lorsque la décharge est poursuivie jusqu'à une tension très faible que l'augmentation de poids reste inférieure à la théorie.

Ceci confirme nos expériences personnelles et nous avons souvent mentionné qu'à côté du sulfate de plomb il peut se former, dans la matière active positive en décharge, de l'oxyde de plomb PbO, lorsqu'on poursuit la décharge au-dessous du crochet de la courbe.

(1) L. Jumau; Sur la théorie des accumulateurs électriques et particulièrement de l'accumulateur au plomb. *Revue générale de l'Electricité*, 7 décembre 1929, t. XXVI, p. 917-925.

(2) E. Denina; Natura e caratteristiche di funzionamento dell' accumulatore a piombo. *Giornale di Chimica industriale ed applicata*, février 1930, t. XII, p. 67.

(3) Ch. Féry et Ch. Chéneveau; Théorie complète du fonctionnement de l'accumulateur au plomb. *Revue générale de l'Electricité*, 20 février 1926, t. XIX, p. 296-301.

(1) L. Jumau; Sur la théorie de l'accumulateur au plomb. *Revue générale de l'Electricité*, 14 août 1926, t. XX, p. 235-239.

Dans le cas où la décharge est poussée jusqu'à l'inversion de la plaque positive, le sulfate de plomb formé pendant la première partie de la décharge passe à l'état de plomb spongieux. L'acide sulfurique libéré transforme en sulfate de plomb les petites quantités d'oxyde de plomb qui ont pu se former entre le crochet de la courbe de décharge et l'inversion. Dès l'apparition du plomb spongieux, des couples locaux se forment entre celui-ci et le peroxyde de plomb qui n'a pas été utilisé pendant la décharge. Les deux corps se transforment alors en sulfate de plomb. Finalement, toute la matière, après être passée par l'état intermédiaire de sulfate de plomb, est réduite en plomb spongieux.

Mais le fait primordial à retenir des essais ci-dessous est que la réaction principale de décharge jusqu'au crochet reste bien la sulfatation de la matière active positive, conformément à la théorie de la double sulfatation.

II. **Détermination de la chaleur de réaction.** — Dans une autre série d'essais, les auteurs, utilisant l'électrode auxiliaire au sulfate mercureux, ont mesuré la force électromotrice ainsi que le coefficient de température du couple formé par une plaque positive de l'accumulateur au plomb et cette électrode auxiliaire dans un électrolyte sulfurique de poids spécifique 1,15.

Pour le coefficient de température, mesuré entre 0° et 45°C, ils ont trouvé la valeur $0{,}5 \times 10^{-4}$ v par degré centésimal.

Appliquant les valeurs ainsi mesurées de la force électromotrice et du coefficient de température à la formule d'Helmholtz

$$E = \frac{Q}{23\,067\,n} + T\frac{dE}{dT},$$

ils ont pu déterminer ainsi la chaleur de réaction calculée Q et ils ont trouvé 46900 calories. Or, d'après les données thermochimiques, la réaction réversible

$$2Hg + PbO^2 + 2H^2SO^4 \rightleftarrows Hg^2SO^4 + PbSO^4 + 2H^2O$$

donne en décharge un dégagement de chaleur de 47103 calories.

Les deux nombres sont en accord très satisfaisant et ceci démontre encore que, pendant la décharge, la matière active positive PbO^2 se transforme en sulfate de plomb $PbSO^4$ suivant la théorie de la double sulfatation.

III. **Conclusion.** — Les auteurs complètent enfin leur étude par des mesures de tension et de résistance intérieure cathodique et anodique, pendant la décharge, pendant la charge et pendant l'inversion d'un élément dont la capacité est limitée par les plaques positives, en faisant usage de l'électrode auxiliaire au sulfate mercureux.

Ils trouvent pour ces courbes en fonction du temps (décharge, charge ou inversion), les allures bien connues et ils en concluent que tous les phénomènes constatés trouvent leur explication satisfaisante à la lumière de la théorie de la double sulfatation.

L. Jumau.

Revues, analyses et informations

Ampoule à rayons X du type Coolidge fonctionnant sous la tension de 400 000 volts.

Dans une communication faite à la séance du 30 juillet 1930 de l'Académie des Sciences, M. A. d'Arsonval (1) a présenté un nouveau modèle de tube à rayons X fonctionnant sous 400 000 v; il précise les conditions qui ont permis aux Etablissements Gaiffe-Gallot et Pilon de construire d'une façon régulière ces ampoules pour des tensions de cet ordre. Voici le texte de cette communication.

C'est en 1913 que W.-D. Coolidge inventa les tubes à rayons de Röntgen dont le courant électronique était produit par l'émission d'une cathode incandescente.

Pendant plusieurs années (1919-1928) il sembla que 200 000 v devaient être la tension limite que pût supporter pratiquement ce modèle d'ampoule. A plusieurs reprises, des essais de grande envergure furent tentés dans de puissants laboratoires. En 1926, W.-D. Coolidge réalisa un tube à potentiel échelonné qui lui permit de faire sortir de l'ampoule, à travers une mince fenêtre de nickel de 0,0127 mm d'épaisseur, des rayons cathodiques de grande vitesse : ce tube fonctionnait jusqu'à la tension de 350 000 v. C'est pour la réalisation de cette expérience que W.-D. Coolidge donna à la cathode une forme régulièrement arrondie, supprimant ainsi, autant que possible, tout angle vif sur les pièces métalliques mises sous tension.

En 1928, W.-D. Coolidge (1) étudia des tubes à 2 et 3 étages pouvant fonctionner jusqu'à 600 000 et 900 000 v. Dans la même année C.-C. Lauritsen et R.-D. Bennett (2) réalisèrent un tube à « émission froide », fonctionnant sur pompe et qui supporta une tension de 750 000 v. En janvier 1930, G. Breit, M. A. Tuve, O. Dahl (3) et L.-B. Hafstad (4) présentèrent un dispositif de laboratoire permettant d'atteindre et peut-être même d'utiliser sur un tube à 15 étages la tension de 1 000 000 v.

Dans une publication récente, Heinrich Herrmann et Robert Jaeger (5) signalèrent qu'en triant certains tubes à rayons X utilisés en radiothérapie à 250 000 v, ils étaient arrivés à faire fonctionner d'une façon fortuite, jusqu'à

(1) A. d'Arsonval. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 30 juin 1930, t. CXC, p. 1538-1541, 1200 mots.

(1) *General electric Review*, 1928, t. XXXI, p. 184.
(2) *The physical Review*, 1928, t. XXXII (2e série), p. 850.
(3) *The physical Review*, 1930, t. XXXV (2e série), p. 51.
(4) *The physical Review*, 1930, t. XXXV (2e série), p. 66.
(5) *Fortschr. auf d. Geb. d. Röntgenstrahlen*, 1930, t. XLI, p. 426.

400 000 v, en tension pulsatoire, quelques-uns de ces appareils, avec un débit de 0,5 milliampère.

En mai 1930, M. Holweck (1) présenta à la Société française de Physique un tube démontable à potentiel échelonné fonctionnant sous tension constante, jusqu'à 320 000 v : l'appareil supportait 1 kw.

Mais toutes ces recherches demeuraient du domaine du laboratoire et, à notre connaissance, il n'avait jamais été construit systématiquement d'ampoules à rayons X à émission électronique, fonctionnant normalement sur générateurs à tension constante, et même sur générateurs à tension pulsatoire jusqu'à 400 000 v.

L'ampoule à cathode incandescente que nous présentons aujourd'hui est une ampoule scellée, à un seul étage, dont les caractéristiques normales de fonctionnement sont les suivantes :

En tension constante, à 400 000 v, l'ampoule supporte un courant de 2 milliampères ; en tension pulsatoire, à la tension maximum de 400 000 v, l'ampoule supporte un courant de 2,5 milliampères, en valeur moyenne.

Ce résultat a pu être atteint en montant le filament cathodique dans une pièce métallique de forme arrondie. Au cours du pompage, les gaz occlus dans cette importante masse métallique ont pu être évacués au prix d'une prolongation importante de la durée de l'opération et grâce aux progrès réalisés dans la technique du vide.

La suppression de toute arête vive à la cathode, le soin et les perfectionnements apportés à l'obtention d'un vide élevé et permanent dans le ballon de verre ont permis aux Etablissements Gaiffe-Gallot et Pilon de construire d'une façon régulière, d'abord en 1928, une ampoule fonctionnant à 300 000 v (2), puis l'ampoule à 400 000 v du même type que nous présentons aujourd'hui et dont les dimensions sont les suivantes : longueur totale, 1 050 à 1 070 mm ; diamètre du ballon, 190 à 200 mm ; diamètre des appendices, 44 à 48 mm ; distance entre l'anode et la cathode, 40 mm ; diamètre de la pièce métallique cathodique, 25 mm.

La mesure de la différence de potentiel appliquée aux extrémités du tube a été faite au moyen d'un éclateur à sphères de 50 cm de diamètre.

Il est intéressant de noter que la longueur d'onde du début de l'émission spectrale d'une ampoule fonctionnant à 400 000 v est, d'après la loi de Duane et Hunt, $\lambda_0 = 0{,}0308$ angström et que la radiation émise avec le maximum d'intensité a pour longueur d'onde $\lambda_{max} = 0{,}0402$ angström.

Cette ampoule permettra ainsi d'étendre, dans le domaine des courtes longueurs d'onde, en évitant les difficultés techniques, les recherches qui jusqu'à présent étaient limitées à environ 0,080 angström.

A la tension de 400 000 v, il est émis en quantité importante des rayons de Röntgen qui sont de même fréquence que certains rayons gamma des corps radioactifs formant un premier groupe désigné couramment sous le nom de rayonnement gamma mou.

En effet, Jean Thibaud (3) transcrit dans sa thèse, d'après les travaux d'Ellis et Skinner et les siens, les spectres gamma caractéristiques du radium B et du thorium B par exemple. Par le calcul du quantum, l'énergie des rayonnements gamma de ces corps, exprimée en kilovolts, prend les valeurs suivantes : pour le radium B, 240, 294, 352 kv environ ; pour le thorium B, 235, 299 kv environ.

Au point de vue de la protection des opérateurs contre le rayonnement X émis sous 400 000 v, nous avons effectué quelques premiers essais qui concordent, dans les grandes lignes, avec les prévisions que l'on peut faire d'après les travaux antérieurs sur l'absorption des rayons X et nous pouvons dire que, pour obtenir à 400 000 v un même effet de protection qu'à 200 000 v, il faudra, à intensité égale du rayonnement émis, interposer sur le trajet des rayons X des épaisseurs de plomb quatre à cinq fois plus fortes.

(1) *Bulletin de la Société française de Physique*, 16 mai 1930, p. 97 S.

(2) *Congrès de Chirurgie*, Paris, octobre 1928.

(3) Thèse 1925 (Masson et Cie, éditeurs, Paris).

Suppression des bourdonnements dans les récepteurs radiotéléphoniques alimentés par un réseau de distribution (1).

La vogue des appareils récepteurs de radiotéléphonie alimentés par réseau de distribution s'affirmant de plus en plus, une étude de leur principal inconvénient, le bourdonnement produit dans le haut-parleur, s'imposait, ainsi que celle des moyens à employer pour y remédier. Les causes possibles de ce bourdonnement sont très nombreuses et quelquefois assez difficiles à déceler; l'auteur les analyse les unes après les autres, indique comment en mesurer l'importance et enfin, après avoir rappelé les différentes solutions apportées jusqu'ici, en préconise de nouvelles.

1. Les causes de bourdonnement dans les récepteurs alimentés par un réseau de distribution. — Le bourdonnement peut être dû aux lampes employées, à des effets d'induction, ou au dispositif d'alimentation anodique.

1° *Lampes.* — Il faut distinguer entre les tubes à chauffage direct et indirect. Dans les premières, la cause la plus importante de bourdonnement provient des variations de température de la cathode qui donnent naissance à un son de fréquence double de celle du courant d'alimentation ; on obvie à cet inconvénient en prenant des filaments ayant une grande inertie calorifique, fonctionnant à température aussi basse que possible et de faible surface rayonnante. Parmi les autres causes de trouble, on peut encore noter l'effet Edison entre les deux extrémités du filament, qui se trouvent à des potentiels différents, l'effet du champ magnétique produit par le courant traversant le filament, et enfin l'émission électronique des supports du filament.

Dans les lampes à chauffage indirect bien construites, les effets de température sont négligeables, mais d'autres peuvent subsister à un degré plus ou moins élevé. Les deux systèmes de chauffage paraissent d'ailleurs capables de réalisations également satisfaisantes et quand on emploie des tensions d'alimentation du filament suffisamment faibles (0,5 à 0,75 v) la lampe à chauffage direct peut même se montrer plus avantageuse.

2° *Induction.* — L'induction est une cause importante de bourdonnements avec les récepteurs compacts qui comprennent, très près l'un de l'autre, le récepteur et le dispositif d'alimentation. Il faut distinguer entre l'induction magnétique et l'induction électrostatique ; la première a surtout pour cause le flux de fuites du transformateur d'alimentation et des inductances du filtre, et celui produit par les fils d'alimentation des filaments, parcourus souvent par des courants atteignant plusieurs ampères ; c'est le premier transformateur à basse fréquence qui est, en général, le plus sensible aux effets d'induction magnétique en raison de l'amplification qui se produit après lui.

L'induction électrostatique se fait particulièrement sentir sur les grilles de la détectrice et de la première lampe à basse fréquence : tout conducteur parcouru par un courant

(1) B.-F. Miessner. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, janvier 1930, t. XIII, p. 137-166, 12 000 mots, 12 figures.

périodique peut être cause de perturbation, mais principalement le tube redresseur et son alimentation.

2. Méthodes d'étude du récepteur. — La méthode de mesure du bourdonnement, qui a été trouvée la plus satisfaisante est la suivante : on dispose d'un générateur à basse fréquence donnant des oscillations d'amplitude connue aux bornes d'un potentiomètre, sur une portion duquel on branche un écouteur monté à côté du haut-parleur; on règle le potentiomètre de telle sorte qu'on entende tout juste la note émise par le téléphone à travers le bourdonnement du haut-parleur, en se plaçant à une distance faible pour éliminer l'effet des réflexions et ondes stationnaires : la tension nécessaire aux bornes de l'écouteur donne alors une mesure de l'amplitude du bourdonnement. Cette méthode est très bonne, parce qu'en dernier ressort, ce qui est important, c'est le rapport entre les amplitudes du signal reçu et du bourdonnement; si la fréquence de l'oscillateur est située dans le voisinage de la fréquence moyenne audible (500 à 1 000 p : s) on voit qu'on a à sa disposition une méthode très simple, facilement mise en œuvre et satisfaisante.

Ceci posé, la méthode d'investigation des sources de bourdonnement est la suivante : on remonte de la partie à basse fréquence à la partie à haute fréquence du poste en éliminant au fur et à mesure les causes possibles de bourdonnement qui sont les alimentations de la plaque et du filament, les dispositifs de polarisation et les inductions parasites. Par exemple, si on veut étudier le premier étage à basse fréquence, on met en court-circuit l'entrée grille en laissant subsister la polarisation et on alimente la deuxième lampe de basse fréquence en courant continu; on regarde l'effet des différentes sources d'alimentation en les remplaçant successivement par des batteries d'accumulateurs; ceci fait, il ne restera plus en jeu que des effets d'induction qu'on élimine par déplacement provisoire ou définitif des sources de perturbation.

3. Etablissement des récepteurs en vue de l'élimination des bourdonnements. — 1° *Lampes*. — Le constructeur de postes ne dispose pas en général de moyens d'action sur ce facteur, il ne peut qu'utiliser au mieux les lampes qu'on lui fournit.

2° *Effets d'induction*. — Ces effets sont très difficiles à éliminer dans les récepteurs compacts. On n'arrive à supprimer les effets de l'induction magnétique que par un blindage très soigné du dispositif d'alimentation, en employant des tôles de haute perméabilité (permalloy) pour son établissement. En raison des déformations du flux de fuites magnétique, il est difficile de prédéterminer les emplacements relatifs des différents organes.

L'influence électrostatique des parties portées à un potentiel alternatif élevé sur les parties sensibles de la basse fréquence ne peut guère s'éliminer que par un blindage très soigné relié à la terre; la mise sous écran du tube détecteur et du premier tube basse fréquence est quelquefois indispensable.

3° *Alimentation*.—On constitue presque toujours le dispositif d'alimentation anodique de la façon suivante : la tension redressée et suffisamment filtrée est appliquée aux bornes d'une résistance élevée, sur laquelle on effectue les prises nécessaires pour les différentes tensions de plaque et de polarisation; des capacités shuntent les différentes sections pour éviter les couplages entre étages; ce système nécessite de grosses inductances et un total de capacités de 15 à 30 μF; il se produit une perte inutile de chaleur dans le potentiomètre et l'alimentation est illogique, la lampe de puissance, par exemple, étant alimentée avec un courant aussi bien filtré que la détectrice après laquelle prend place une grande amplification. C'est pourquoi l'auteur préconise le schéma de la figure 1, plus rationnel et exigeant un appareillage dont l'importance est réduite au tiers environ.

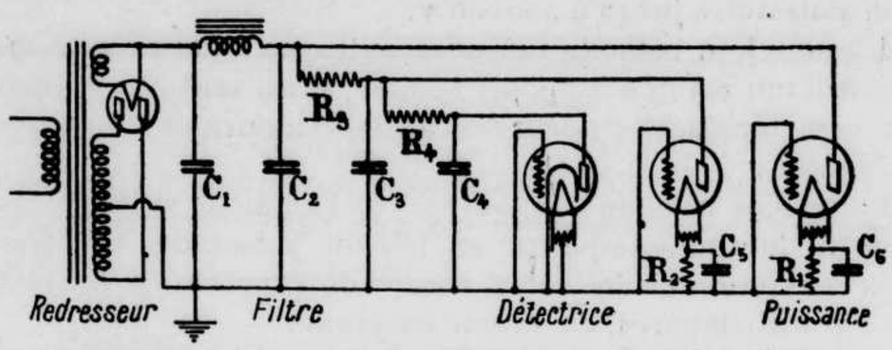


Fig. 1. — Alimentation rationnelle d'un récepteur fonctionnant sur un réseau de distribution.

On peut encore réduire l'appareillage nécessaire en tolérant dans chaque étage des forces électromotrices parasites supérieures à la limite possible et en les opposant d'un étage à l'autre; enfin on peut neutraliser les forces électromotrices parasites dans l'étage même, en employant le dispositif de la figure 2 : la tension de polarisation est obtenue par la chute de potentiel provoquée par le courant anodique

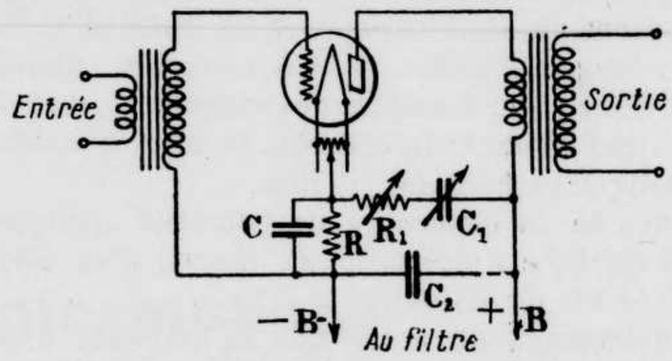


Fig. 2. — Dispositif de neutralisation des forces électromotrices parasites.

à travers la résistance R_1; le condensateur C sert de passage à la haute fréquence et le condensateur C_2 est le condensateur normal du filtre. Le fonctionnement est le suivant : seule la composante alternative du courant redressé peut passer de +B à —B par C_1 R_1 et C et R en parallèle; comme C et R sont dans le circuit de grille, ils introduiront dans ce circuit une force électromotrice alternative parasite dont l'amplitude, la phase et la forme sont déterminées par les valeurs des capacités et des résistances de C, R, C_1 et R_1 et par les caractéristiques de la tension alternative aux bornes B; la force électromotrice ainsi introduite dans le circuit de grille a la même forme que celle qui existe dans le circuit de plaque mais lui est opposée en phase; elle doit avoir une amplitude moindre déterminée par la valeur du coefficient d'amplification; le courant de grille dû à l'émission reçue n'est pas affecté et quand les constantes du circuit sont bien choisies, la neutralisation peut être excellente. — F. F.

SECTION INDUSTRIELLE

L'usine électrique de Guerlédan et le réseau de distribution de l'Union hydro-électrique armoricaine

L'usine génératrice de Guerlédan, en Bretagne, de l'Union hydro-électrique armoricaine utilise les eaux du Blavet. Dans cet article, sont décrits les ouvrages d'aménagement de ce cours d'eau constitués essentiellement par un barrage qui assure une réserve de vingt-cinq millions de mètres cubes d'eau. La hauteur de chute utile maximum sous laquelle fonctionnent les machines de l'usine est de 42,45 mètres. L'usine comporte actuellement trois groupes générateurs de 4300 kilovolts-ampères chacun et doit recevoir ultérieurement un quatrième groupe de 6000 kilovolts-ampères. La description du barrage et de l'usine même est accompagnée de quelques considérations sur l'organisation des chantiers. Suivent quelques indications sur le réseau de l'Union hydro-électrique armoricaine qu'alimente cette usine et qui est interconnecté avec d'autres réseaux de la région. Le régime administratif et financier de ladite société est précisé à la fin de l'article.

I. **Le barrage de Guerlédan.** — **A. Situation topographique.** — L'usine hydroélectrique de Guerlédan a été réalisée en barrant la rivière canalisée du Blavet, à 18 km en amont de Pontivy, par un ouvrage de près de 45 m de hauteur dont la retenue constitue un lac qui s'étend sur 12 km. Le Blavet forme en cette région la limite des départements des Côtes-du-Nord et du Morbihan et l'usine construite sur la rive gauche est située sur la commune de Mûr-de-Bretagne (Côtes-du-Nord).

Le barrage implanté à la sortie des pittoresques gorges de Quénécan a relevé le niveau de la rivière de la cote de 82 m au-dessus de la mer, en étiage, à 125,05 m, soit une retenue normale de 43,05 m qui emmagasine 50 millions de mètres cubes et qui submerge seize écluses du canal de Nantes à Brest dont les barrages mesuraient 2 m à 2,50 m de hauteur. Le lac ainsi formé, dont la superficie atteint 400 hectares, serpente et s'épanouit entre de hautes collines boisées et rocheuses dont les sommets dépassent la cote 250 m et qui appartiennent aux contreforts des Monts d'Arrée.

La tranche d'eau utilisable par l'usine est de 14,55 m de hauteur, entre les cotes de 125,05 m et 110,50 m et correspond à 25 millions de mètres cubes de réserve.

B. Régime hydrographique. — Le Blavet, qui prend sa source au sud de Guingamp à 35 km environ en amont du barrage, est canalisé à partir de 14 km de sa source et se jette à la mer entre Hennebont et Lorient à 60 km en aval de Guerlédan. Le bassin versant qui alimente la retenue du barrage est de 613 km² et sa pluviosité moyenne est voisine de 0,90 m par an.

Le débit de la rivière est de l'ordre de 15 m³ : s en eaux moyennes et tombe, en étiage, à 2 m³ : s entre juin et septembre. Les crues sont rapides et en décembre 1930 on a constaté un débit de 165 m³ : s qui est le plus fort connu.

C. Situation géologique. — Le barrage est fondé sur une formation ordovicienne de grès armoricain se présentant sous forme de bancs de puissance variant de quelques centimètres à plus d'un mètre, séparés par des intercalations argiloschisteuses d'épaisseur très variable. La majeure partie des bancs se compose d'un quartzite très dur et très compact. Cette formation grèseuse dont la largeur à l'affleurement est de 800 m environ a une direction générale est-ouest avec pendage nord à 45° environ, qui correspondent aux meilleures conditions d'appui du barrage.

Ce massif repose sur les schistes brovériens qui bordent le flanc sud du synclinal médian de la Bretagne et sert lui-même de soutien aux schistes à calymènes de l'ordovicien, puis aux grès et aux schistes gothlandiens. C'est au contact du grès et des schistes que s'est produite l'érosion de la vallée abrupte, constituant la retenue du barrage.

D. Constitution de l'ouvrage. — Le barrage a été construit en béton suivant le type classique des barrages-poids à profil triangulaire (fig. 1), mais avec l'allègement maximum qu'autorise le calcul de la stabilité suivant la méthode Pigeaud ; on sait que cette méthode tient compte du fait que la moyenne des sous-pressions à la fondation n'atteint qu'une fraction de la pression correspondant à la hauteur de la retenue. Le coefficient m représentant la fraction maximum compatible avec la stabilité a été pris égal à 0,5 chiffre au-dessous duquel il n'est pas admis de descendre, bien que les sous-pressions réelles soient bien inférieures. Dans ces conditions, pour un fruit en amont choisi de 3 pour 100, on a pu fixer le fruit en aval à 71,5 pour 100. La hauteur totale du barrage étant de 45 m, la largeur totale à la base se trouve être de 33,50 m.

Le sommet théorique de l'angle formé par les parements d'amont et d'aval est placé à la cote 125,05 m, niveau légal de la retenue, mais le couronnement atteint la cote 125,60 m. En outre, le soubassement du parapet d'amont, de 0,30 m de hauteur, porte à 125,90 m la cote maximum en dessous de laquelle tout

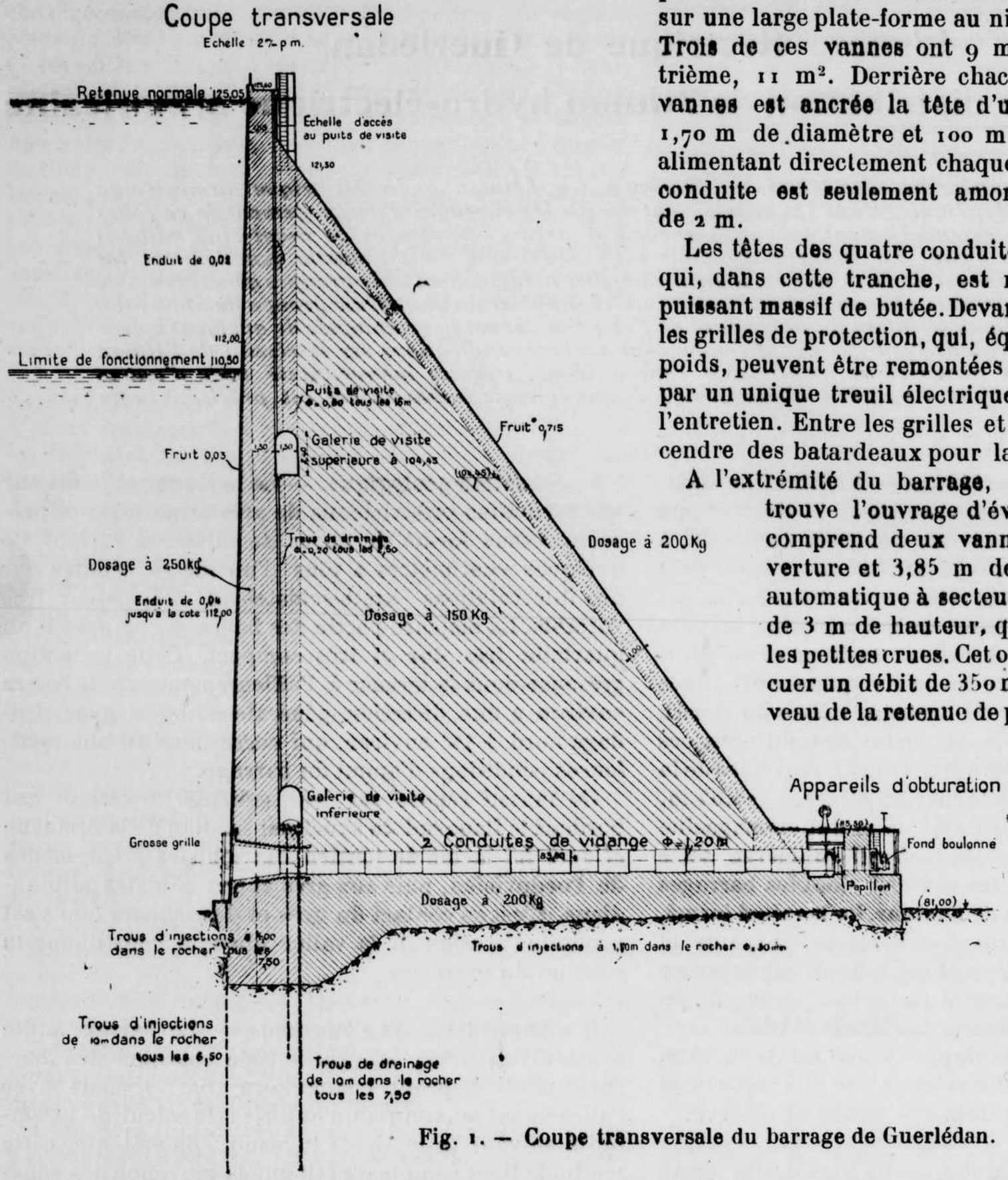


Fig. 1. — Coupe transversale du barrage de Guerlédan.

déversement par dessus l'ouvrage est rendu impossible, soit 0,35 m en dessus du niveau d'eau maximum, de 125,55 m, qui pourrait être atteint en crue exceptionnelle.

En plan, l'ouvrage est rectiligne et sa longueur de couronnement est de 206 m. Le volume total de la maçonnerie de béton est de 110 000 m³, fondations comprises; mais pour assurer le libre jeu des retraits et dilatations, ce massif a été divisé en huit tranches séparées suivant des plans verticaux, distants entre eux, en principe, de 30 m.

Sur la figure 2, qui montre le plan d'ensemble des ouvrages, on peut voir que la prise d'eau alimentant l'usine a été aménagée dans l'avant-dernière tranche du barrage, du côté de la rive gauche; elle comprend (fig. 3) quatre pertuis fermés par des vannes dont le seuil est à la cote 106,20 m et qui sont manœuvrées par des crémaillères et des treuils électriques, installés sur une large plate-forme au niveau du couronnement. Trois de ces vannes ont 9 m² de surface et la quatrième, 11 m². Derrière chacune des trois premières vannes est ancrée la tête d'une conduite forcée, de 1,70 m de diamètre et 100 m de longueur moyenne, alimentant directement chaque turbine. La quatrième conduite est seulement amorcée avec un diamètre de 2 m.

Les têtes des quatre conduites traversent le barrage qui, dans cette tranche, est renforcé à l'aval par un puissant massif de butée. Devant les vannes, se trouvent les grilles de protection, qui, équilibrées par des contrepoids, peuvent être remontées au sommet du barrage par un unique treuil électrique pour les nettoyages et l'entretien. Entre les grilles et les vannes, on peut descendre des batardeaux pour la visite de ces dernières.

A l'extrémité du barrage, vers la rive droite, se trouve l'ouvrage d'évacuation des crues, qui comprend deux vannes Stoney de 6 m d'ouverture et 3,85 m de hauteur, et une vanne automatique à secteur de même largeur, mais de 3 m de hauteur, qui seule doit jouer pour les petites crues. Cet ouvrage est capable d'évacuer un débit de 350 m³ : s sans surélever le niveau de la retenue de plus de 0,50 m au-dessus de la cote légale (cote maximum 125,55 m).

Vers le milieu et au niveau d'aval de la rivière se trouvent deux vannes de vidange de 1,20 m de diamètre, ancrées à l'aval du barrage et précédées de conduites en tôle noyées dans le béton, dont l'orifice d'amont élargi à 2 m de diamètre est protégé par une grille à gros éléments.

E. Dispositions prises pour l'étanchéité du barrage et la réduction des sous-pressions. — La réduction des sous-pressions étant essentielle pour la sécurité d'un ouvrage de ce type, un soin particulier a été apporté, tant à assurer l'étanchéité de la zone amont du barrage qu'à drainer les infiltrations qui auraient pu se produire soit à travers le sol de fondation, soit à travers le béton lui-même, soit par les joints de contraction.

Un réseau de drains verticaux de 0,20 m de diamètre distants entre eux de 2,50 m sont ménagés à une dis-

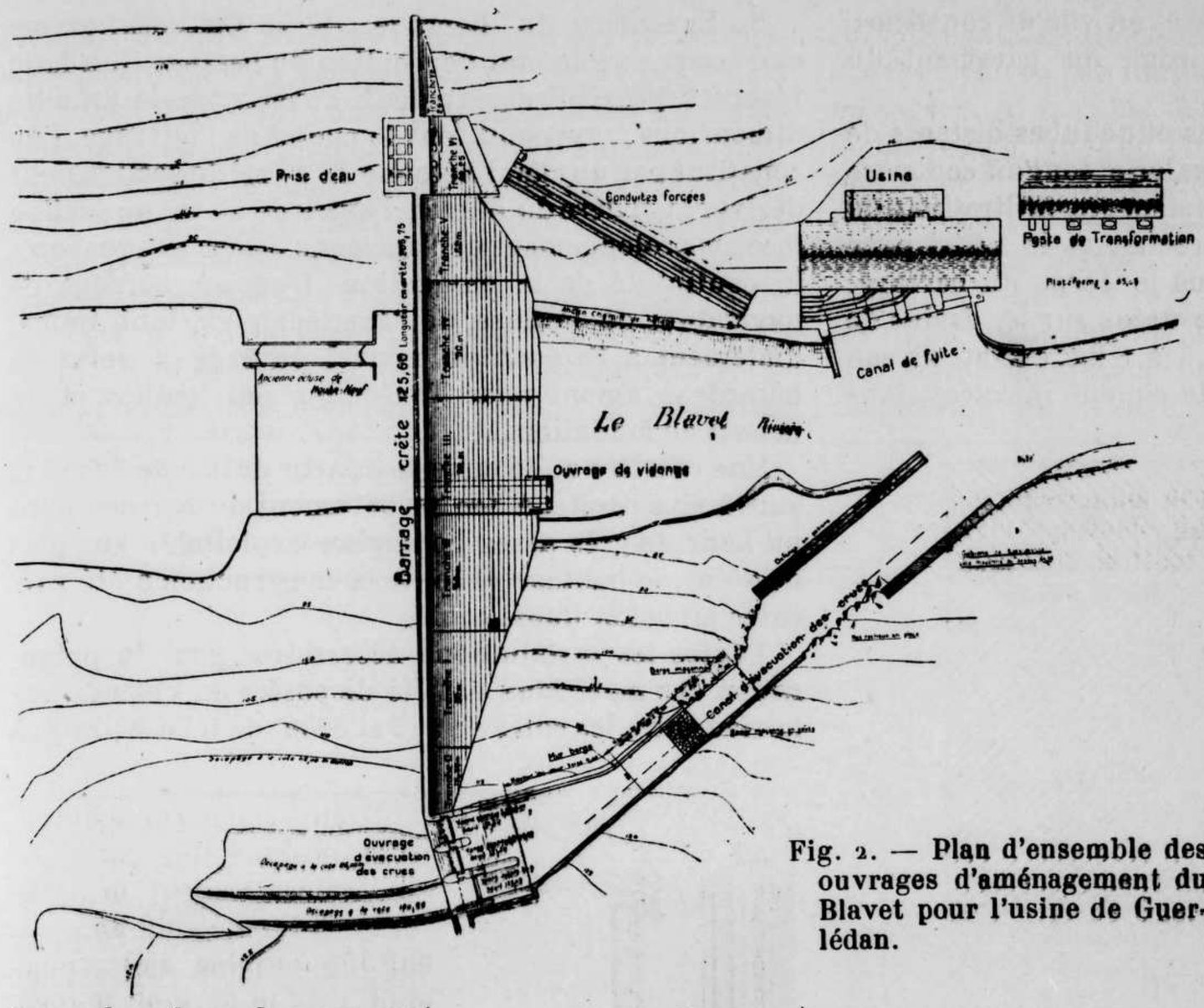


Fig. 2. — Plan d'ensemble des ouvrages d'aménagement du Blavet pour l'usine de Guerlédan.

tance de 1,30 m du parement amont au sommet. Ces drains débouchent dans deux galeries de visite et de drainage, établies aux cotes 104,45 et 83,50 m, soit environ 20 m et 40 m respectivement au-dessous du sommet de la retenue. Ces galeries ont une section de 2,40 m × 1,30 m strictement suffisante pour l'installation d'une sondeuse permettant un reforage éventuel des drains. La figure 1 montre la disposition de ces drains.

Le système de drainage est complété par des puits verticaux de 0,80 m de diamètre, destinés à contrôler l'étanchéité des joints de contraction. Celle ci est assurée à l'amont par une baguette prismatique en béton légèrement armé, de 1 m² de section (fig. 4), s'appuyant sur un enduit plastique de 6 mm en « bituplastic ».

Pour assurer l'étanchéité du parement d'amont, celui-ci a été recouvert de 50 mm d'enduit au ciment Pelloux, dosé à 650 kg par mètre cube de sable, et additionné de « watproof », qui a été exécuté au cement-gun, en deux couches avec interposition d'un grillage métallique dans la première couche jusqu'à 15 m du couronnement. Cet enduit a été ensuite badigeonné de deux couches d' « inertol ». Autour des conduites forcées et des conduites de vidange, le béton a été armaturé et injecté dans la zone amont du barrage.

Enfin, en raison de la nature particulière du sous-sol faillé et par endroits disloqué, tous les soins ont été pris pour rendre le sol et le lit de fondation imperméables. De nombreux tubes d'injection ont été ménagés dans les tranches inférieures du béton et de la laitance de ciment y a été injectée, lorsque le bétonnage a atteint 5 m à 6 m de hauteur, afin que soit étanché le joint entre le rocher et le béton. D'autre part, pour l'étanchement du sous-sol il a été fait des forages d'une longueur totale de 2 200 m, dont 1 100 m pénétrant de 5 à 10 m dans le sol de fondation. Ces forages, établis sur quatre lignes parallèles dont la principale se trouve dans l'axe de la galerie de visite inférieure, ont été injectés de ciment sous des pressions variables, atteignant jusqu'à 15 kg : cm²

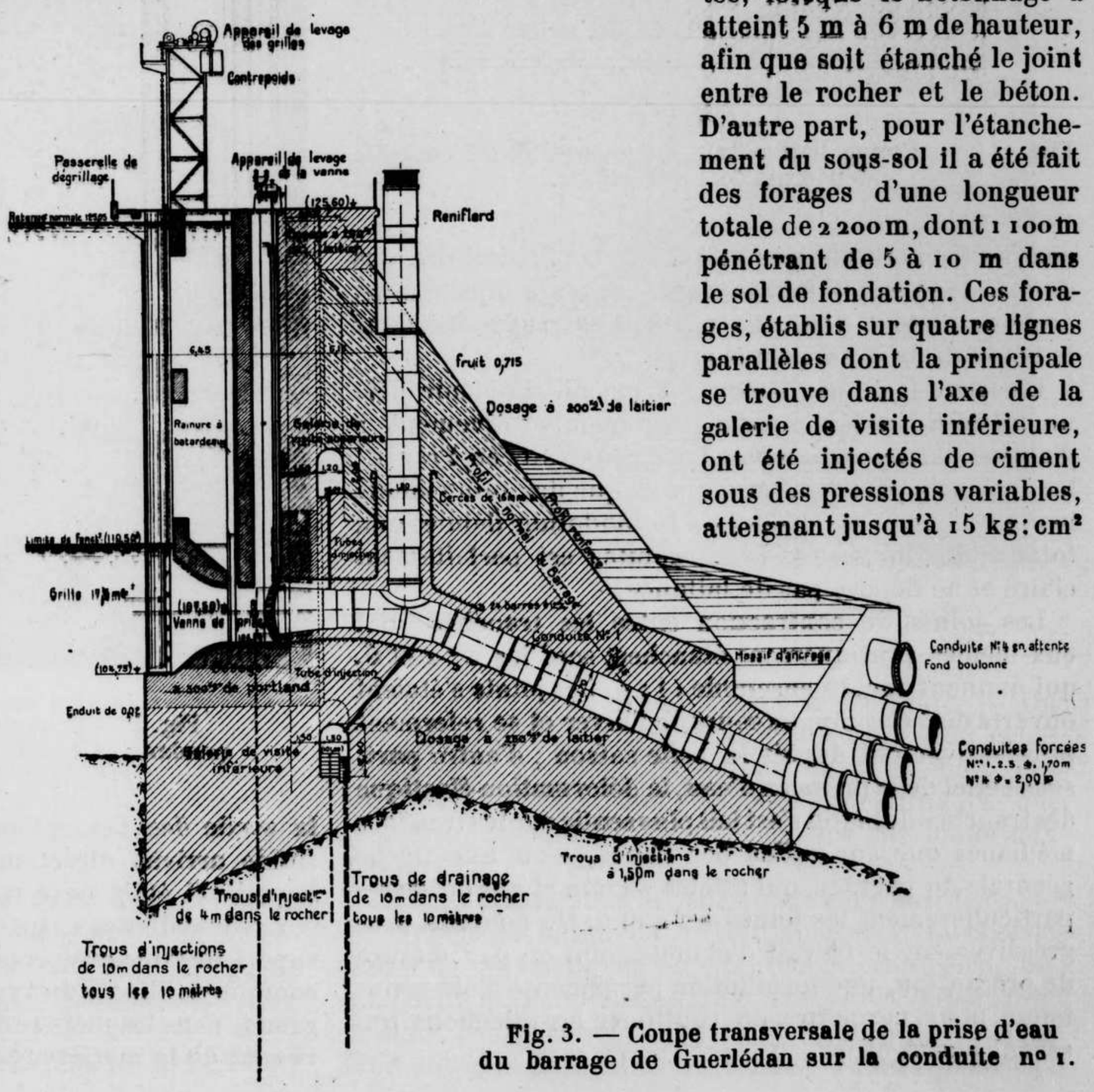


Fig. 3. — Coupe transversale de la prise d'eau du barrage de Guerlédan sur la conduite n° 1.

avec les laitances les plus épaisses en vue de constituer un rideau étanche dans la zone du parement du barrage.

Toutefois une série de forages et de tubes distants de 8 m et situés dans l'axe de la galerie sont au contraire maintenus vides et servent à drainer les infiltrations du sous-sol ou du joint entre le rocher et le béton pour réduire les sous-pressions sous le corps du barrage. Les sous-pressions maxima mesurées sur les drains de fondation n'ont pas dépassé 0,5 à 1 kg : cm² au niveau du bief aval. Les quantités de ciment injectées dans

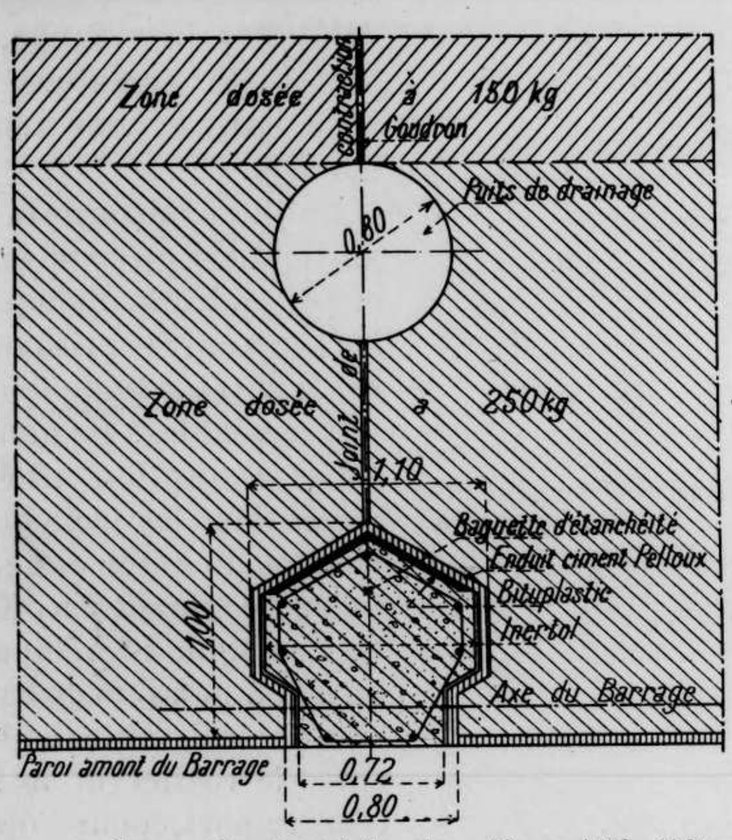


Fig. 4. — Coupe horizontale du dispositif d'étanchéité des joints de contractions.

chaque trou ont été très variables et plus importantes dans la région des failles ; au total, on a injecté ainsi 400 t de ciment dont une partie s'est répandue dans le béton de fondation du barrage.

L'ensemble de ces mesures a permis d'obtenir déjà un résultat assez satisfaisant, comparativement à d'autres barrages du même type construits en France ; les drains du parement ne donnent que des suintements insignifiants et les drains de la fondation débitent au total moins de 4 l : s. L'eau débitée est parfaitement claire et ne dépose pas de laitance.

Les joints de contraction entre les tranches sont eux-mêmes pratiquement étanches, sauf les nos 2 et 6, qui donnent encore ensemble 1 l : s. Ces joints s'étaient ouverts de 3 et 4 mm au cours de l'hiver et se referment progressivement depuis la belle saison ; d'autre part, sous l'effet de la pression d'eau, la déformation élastique des tranches de béton s'est fait plus sentir sur les tranches médianes que sur celles des flancs, d'où une flèche générale du barrage, qui atteint 26 mm et qui influence particulièrement les joints nos 2 et 6. On poursuit progressivement le travail d'étanchement et, par mesure de précaution, une installation permanente a été maintenue pour permettre de continuer les injections qui seront jugées utiles.

F. **Exécution du barrage.** — 1. Organisation des chantiers. — Pendant l'exécution du barrage, il a fallu réserver provisoirement deux ouvertures de grandes dimensions traversant tout le massif de l'ouvrage, l'un constitué par un canal bétonné de 20 m² de section pour dériver la rivière du Blavet, l'autre de 25 m² de section face au prolongement de l'ancienne écluse pour assurer la continuité de la navigation. L'ancien barrage de navigation de l'écluse de Guerlédan existant immédiatement à l'amont du nouvel ouvrage a servi de bâtardeau amont pour l'exécution des fouilles et du massif de fondation.

Une carrière a été ouverte à partir de la cote de 115 m sur la rive droite, à 300 m en amont du barrage dans un banc de grès assez homogène exploitable sur plus de 20 m de hauteur et toute la construction a été exécutée en béton fluide coulé.

Toutes les installations nécessaires pour la préparation des matériaux ont été disposées en cascade sur la rive entre les cotes de 115 et 85 m, de telle façon qu'à

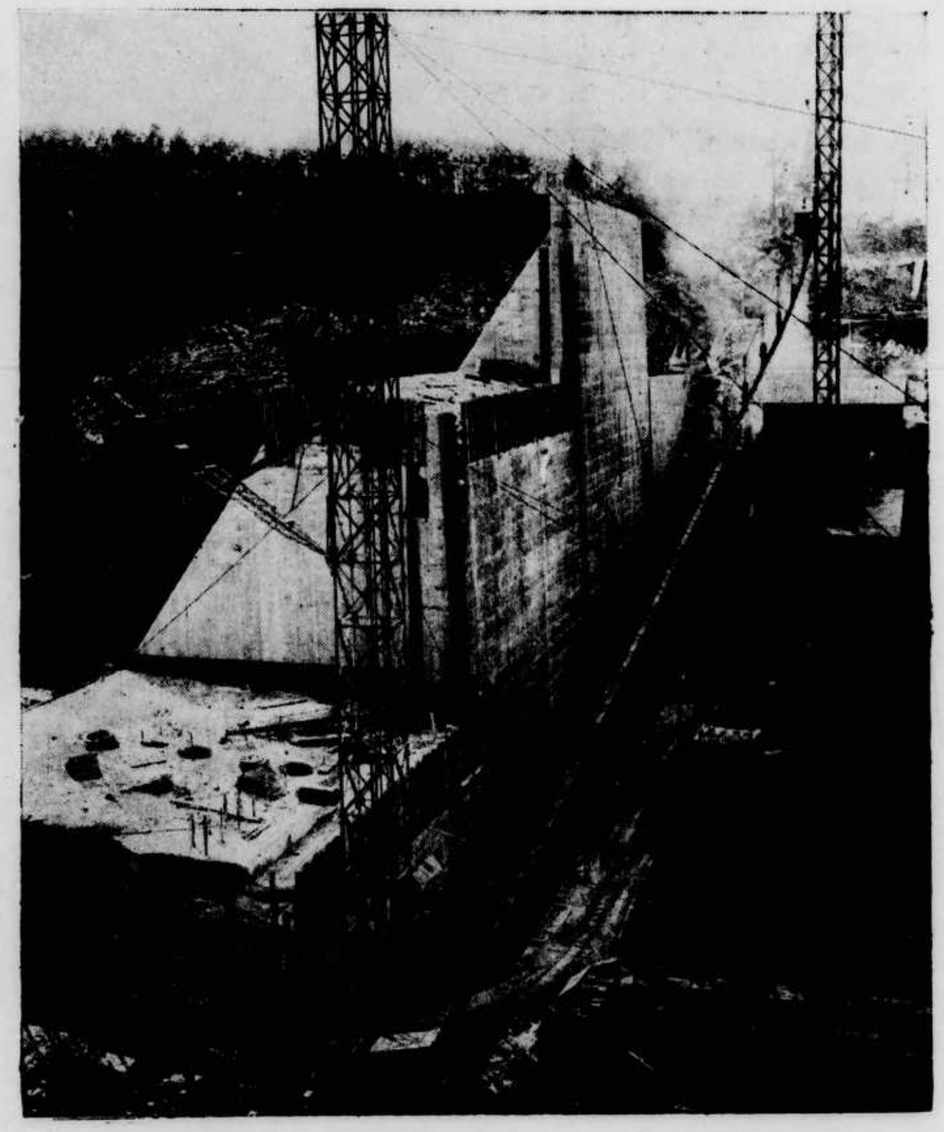


Fig. 5. — Vue du barrage de Guerlédan, pendant sa construction, prise en juin 1928.

la sortie des bétonnières, le mélange de béton bien fluide arrivât directement au pied de la tour dans laquelle il était élevé pour être distribué par gravité.

Les installations (fig. 5 et 6) comprenaient à l'étage supérieur trois gros concasseurs verticaux à mâchoire conique oscillante du type « girator », de la maison Bergeaud, dans lesquels se déversaient les trains de pierres venant de la carrière ; au-dessous se trouvaient succes-

sivement un gros trommel, un second jeu de concasseurs produisant les éléments fins à partir des rejets de criblage dépassant 10 cm, puis deux petits trommels alimentant en gravillon des broyeurs à meules, destinés à produire le sable. Tous ces matériaux se déversaient sur un tapis roulant qui alimentait deux trommels de classement montés directement sur les silos de réserve. On séparait les éléments en trois grosseurs de 10 à 6 cm, de 6 à 0,6 cm et au-dessous de 0,6 cm.

A la sortie des silos se trouvaient les doseurs volumétriques des trois éléments ci-dessus; une quantité complémentaire de sable de rivière arrivant par le canal et élevée par un plan incliné était introduite en même temps dans les doseurs pour compléter le sable de broyage produit en proportion insuffisante; c'est là que se faisait aussi l'introduction de l'eau et celle du ciment, dont le magasin de réserve, prévu pour 2000 t, était au même niveau.

Deux bétonnières Roll malaxaient ces matériaux et les déversaient par 3/4 de mètre cube dans la benne élévatrice d'un système distributeur à tours et coulottes suspendues, de l'Allied Machinery, disposées pour la

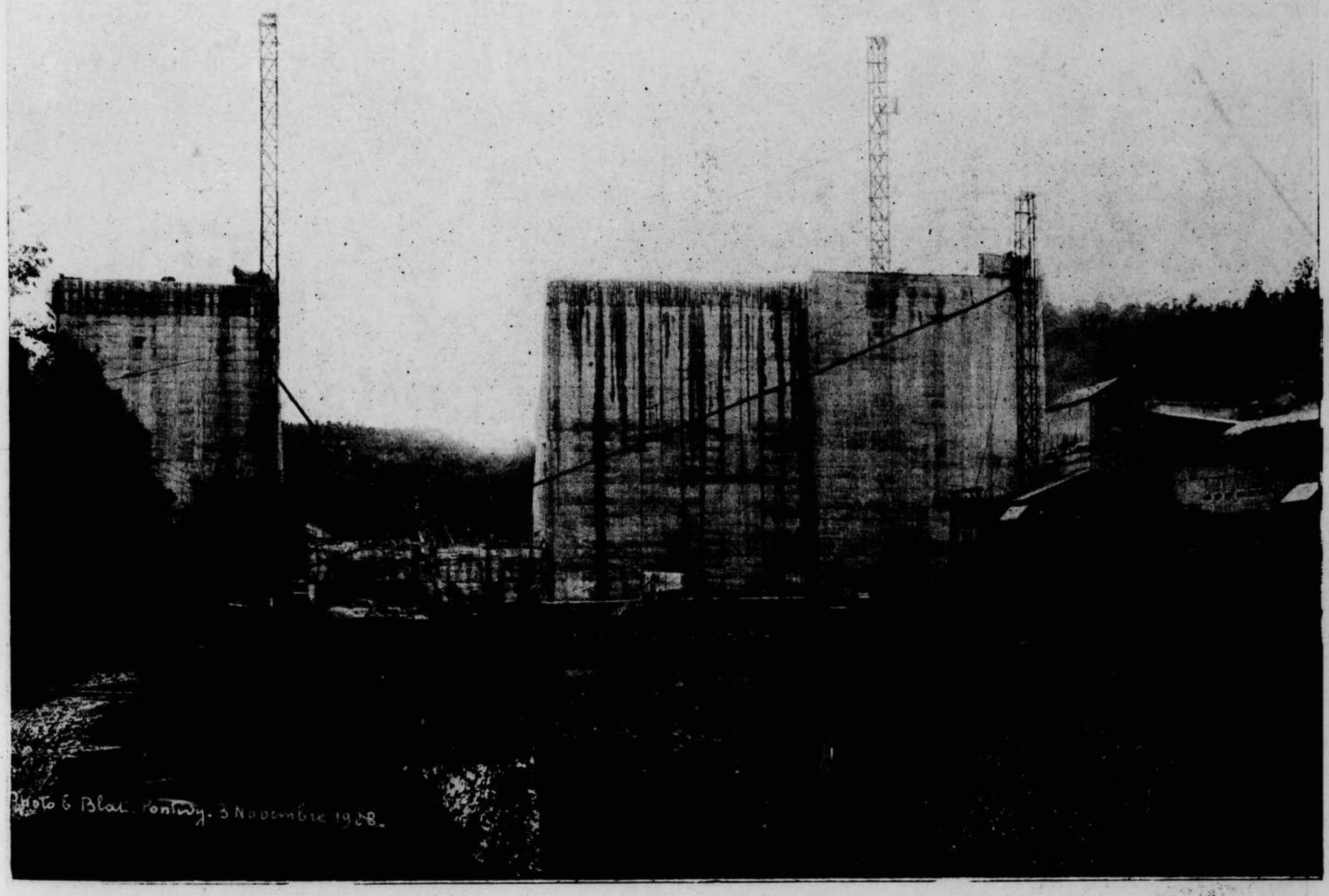


Fig. 6. — Vue de la face d'amont du barrage de Guerlédan pendant sa construction en novembre 1928.

construction alternée des diverses tranches verticales constituant le barrage. Des hommes chaussés de bottes en caoutchouc dirigeaient les volées inférieures tournantes des coulottes de distribution et achevaient le règlage des couches de béton suivant les profils prescrits.

Le système comprenait deux tours de 70 et 63 m de hauteur et permit la mise en place de 300 m³ de béton par jour, avec une production moyenne de 190 m³ par jour effectif de travail et avec une main-d'œuvre restreinte.

Les figures 7 et 8 montrent l'ouvrage terminé.

2. Constitution du béton employé et résultats. — On sait que la mise en œuvre correcte du béton coulé nécessite de grandes précautions dans le choix des proportions des divers éléments constituants qui dépendent en partie de la nature même des matériaux employés.

Le liant utilisé pour la construction du barrage a été un ciment de laitier de qualité spécialement choisie (usine de Maxéville) et rigoureusement contrôlée; les compositions adoptées, après une série importante d'essais, pour lesquels un petit laboratoire de contrôle avait été spécialement organisé, ont été les suivantes :

1° Pour la zone d'étanchéité du parement d'amont (de 3,80 m d'épaisseur au pied et de 2,60 m au sommet) on a admis pour un mètre cube de béton en place :

Ciment de laitier	250 kg
Pierre cassée de 10 à 6 cm (21 pour 100)	280 l
Pierre cassée de 6 à 0,6 cm (47 pour 100)	630 l
Sable (32 pour 100)	425 l

2° pour le corps du barrage, on a adopté, pour un mètre cube de béton en place :

Ciment de laitier	150 kg
Pierre cassée de 10 à 6 cm (25 pour 100)	335 l
Pierre cassée de 6 à 0,6 cm (45 pour 100)	600 l
Sable (30 pour 100)	400 l

3° pour la fondation et pour le parement aval, on a admis les mêmes proportions avec dosage de ciment porté à 200 kg.

Au cours de la construction, la résistance du béton était vérifiée à la presse Amsler sur des cubes de 20 cm de côté.

Pour les ouvrages en béton armé, notamment la prise d'eau, le ciment de Portland a remplacé le ciment de laitier et le dosage a été porté à 300 kg.

Une constatation très intéressante est l'absence des dépôts de calcite aux points de résurgence des infiltrations. On avait craint en effet l'action des eaux très pures du Blavet, dont le degré hydrotimétrique est

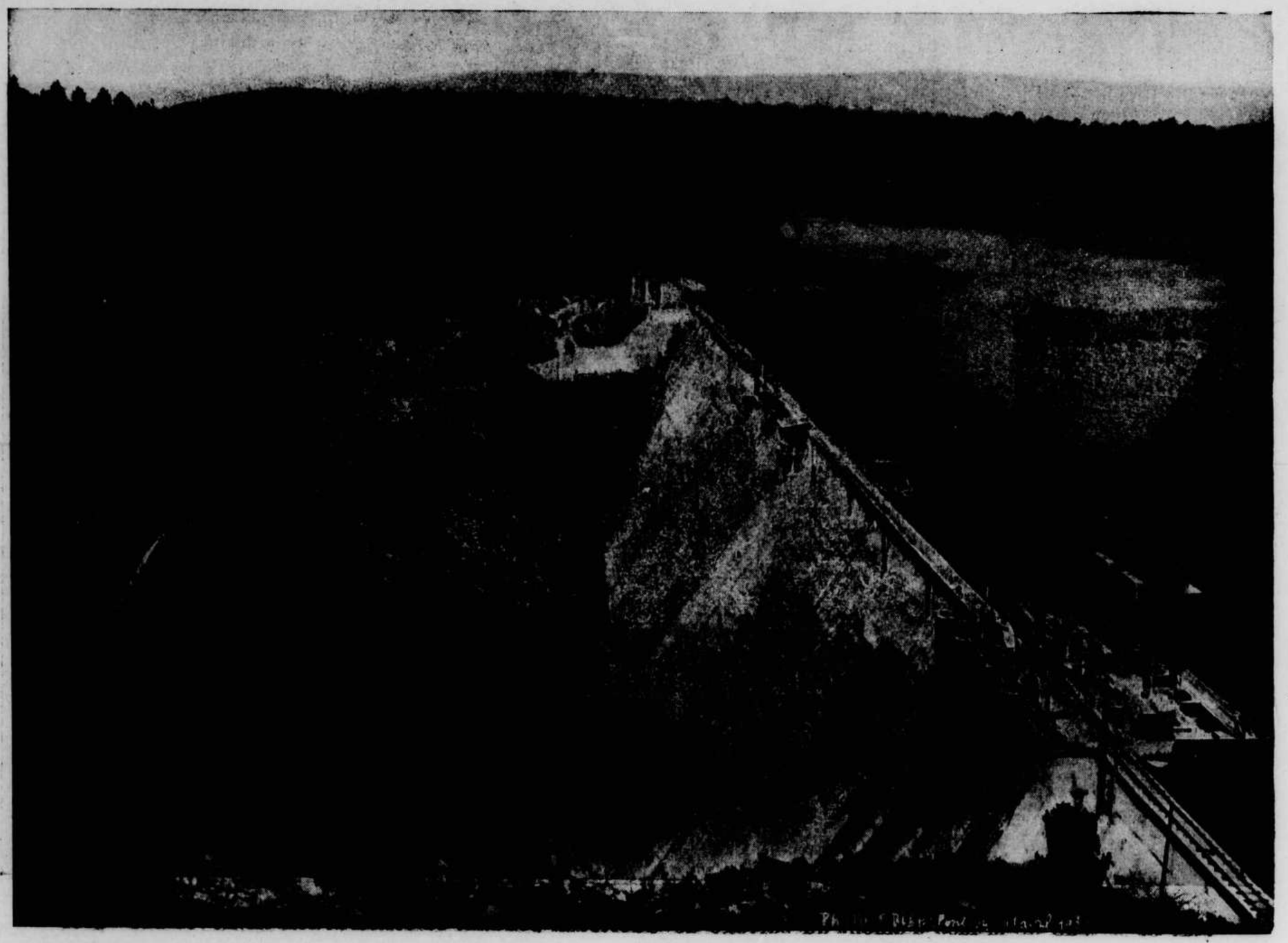


Fig. 7. — Vue du barrage de Guerlédan, terminé en avril 1930.

extrêmement bas et le pouvoir dissolvant, d'autant plus considérable qu'elles contiennent en dissolution de la silice et de l'anhydride carbonique libres ; l'action dissolvante ne pouvait s'exercer sur les matériaux pierreux ou le sable, eux-mêmes siliceux, mais elle était redoutable sur le liant. On avait, à cet effet, adopté le ciment de laitier pour la masse du barrage, parce que c'est lui qui présente l'indice d'hydraulicité maximum ; pour l'enduit de la face d'amont, le ciment Pelloux, parce qu'il résiste particulièrement bien à l'action des eaux pures. La contre-épreuve est fournie par les infiltrations dans le massif en béton armé de la prise d'eau qui a été constituée en ciment artificiel à prise lente, les suintements de ce massif qui arrivent dans la galerie de visite y laissant des dépôts de chaux.

Grâce à l'emploi du ciment de laitier, la surélévation maximum de température dans le corps du barrage pendant la prise n'a pas dépassé 10°C, tandis que l'obturation de la dérivation provisoire qui a été faite au moment de la mise en eau de la retenue, sur 9 m d'épaisseur à partir du parement, avec du « superciment » dosé à 300 kg, a manifesté un échauffement de

29°C. Des sondes à résistances électriques noyées dans les bétons ont permis de suivre méthodiquement ces intéressantes variations de température.

Il est à noter que la très grande dureté du grès armoricain et son pouvoir abrasif ont obligé à employer pour tout le matériel de concassage et broyage et pour les marteaux et perforatrices des aciers spéciaux au manganèse de haute qualité dont l'usure a cependant été énorme.

3. Installations diverses. — Bien entendu, indépendamment des installations spéciales décrites plus haut, l'organisation d'un chantier de cette importance comprenait des logements dont plusieurs prévus pour servir ultérieuremnet au personnel d'exploitation ainsi que tous les ateliers, magasins et bureaux nécessaires qui étaient rassemblés principalement sur la rive gauch du Blavet à proximité de l'emplacement de l'usine hydroélectrique.

G. Difficultés rencontrées. — Au point de vue technique, en dehors des difficultés normales de l'organisation d'un chantier de ce genre, de la mise au point du coulage du béton et de la réalisation d'un programme méthodique de bétonnage par tranches alternées avec le minimum de déplacements de l'appareillage (coulottes, tours et câbles de suspension), la principale difficulté rencontrée a été due à la présence de failles argileuses dont la plus importante a obligé à descendre la fondation à 10 m en contrebas du lit de la rivière.

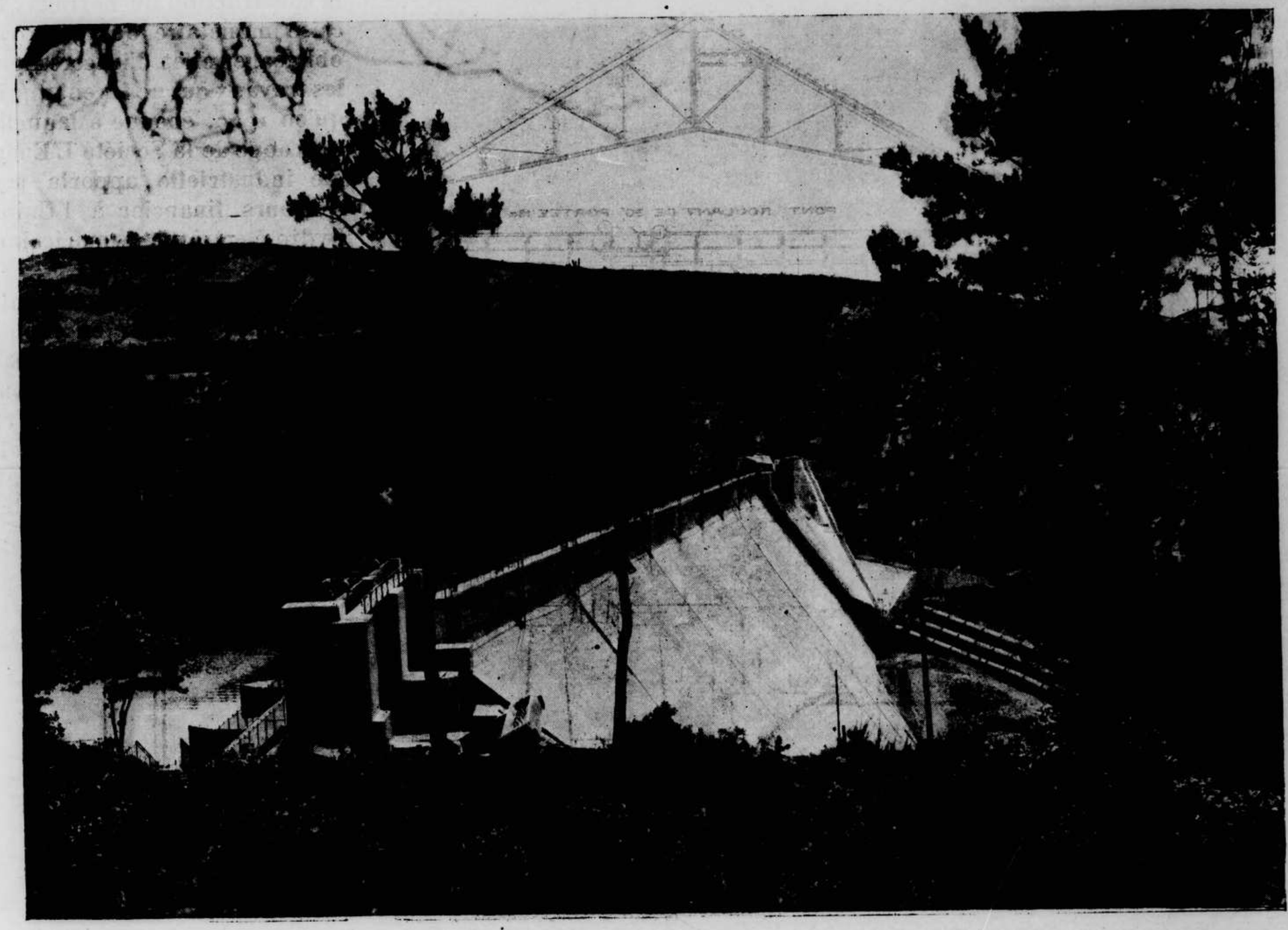


Fig. 8. — Vue d'ensemble en élévation de l'ouvrage terminé.

Cette faille, perpendiculaire au barrage, passait sous l'écluse à la sortie de laquelle l'ouvrage était établi et avait échappé aux sondages de reconnaissance qui avaient été faits en divers points de la fondation prévue, mais non dans l'axe de l'écluse. Au niveau du sol, cette faille avait 10 m de puissance à l'amont et 9 m à l'aval du barrage. A 10 m de profondeur, la faille étant constituée de schiste non délité et d'une bande d'argile blanche compacte et imperméable dont la largeur variait de 0.80 m à 0,50 m; il parut raisonnable de limiter la fouille à cette profondeur et de faire le remplissage en béton qui s'arc boutait sur les parois rocheuses mises à nu, mais on scella de nombreux tubes pour injecter ultérieurement du ciment dans toute la zone de grès disloqué constituant les épontes de la faille.

D'autre part, un incident grave s'est produit vers la fin des travaux, lorsque la retenue était déjà remplie à

30 m de hauteur et que l'usine commençait à fonctionner ; l'une des deux vannes de vidange du pied du barrage, du type à papillon, qui était ouverte pour limiter la vitesse de montée de l'eau gênante pour l'achèvement des travaux, a éclaté par coup de bélier dû à la fermeture brusque du papillon, à la suite de la rupture d'une pièce du mécanisme agissant sur son axe horizontal.

Il a fallu remplacer cette vanne en renforçant ses organes, et ce travail a pu être fait sans vider le réservoir en constituant un bâtardeau d'un type spécial devant l'orifice amont de la conduite de vidange. A cet effet, on a descendu successivement le long du parement du barrage, sous une hauteur d'eau de 35 m, douze poutrelles verticales de 36 m de hauteur, constituées chacune par deux rails accouplés et munis de joues en bois aux points convenables, qui ont fermé un orifice de 2 m de diamètre à la façon d'un barrage à aiguilles. On réussit ainsi à réduire le débit de cette conduite de 18 m³:s à 0,5 m³:s environ et on put ensuite, avec l'aide d'un scaphandrier, achever le colmatage des fuites par du mâchefer en sacs et en vrac, jusqu'à ne plus perdre qu'une vingtaine de litres par seconde, bien que la retenue fût pleine; le remplacement de la vanne et l'enlèvement des poutrelles ne présentèrent plus, par la suite, aucune difficulté.

D'un point de vue tout autre que la technique, on peut signaler les difficultés financières qui ont retardé la construction du barrage : la crise monétaire de 1924-1926 obligea, en effet, d'interrompre les travaux qui ne furent repris qu'en 1927, époque à laquelle le groupe de la Société L'Energie industrielle apporta son concours financier à l'Union hydro-électrique armoricaine.

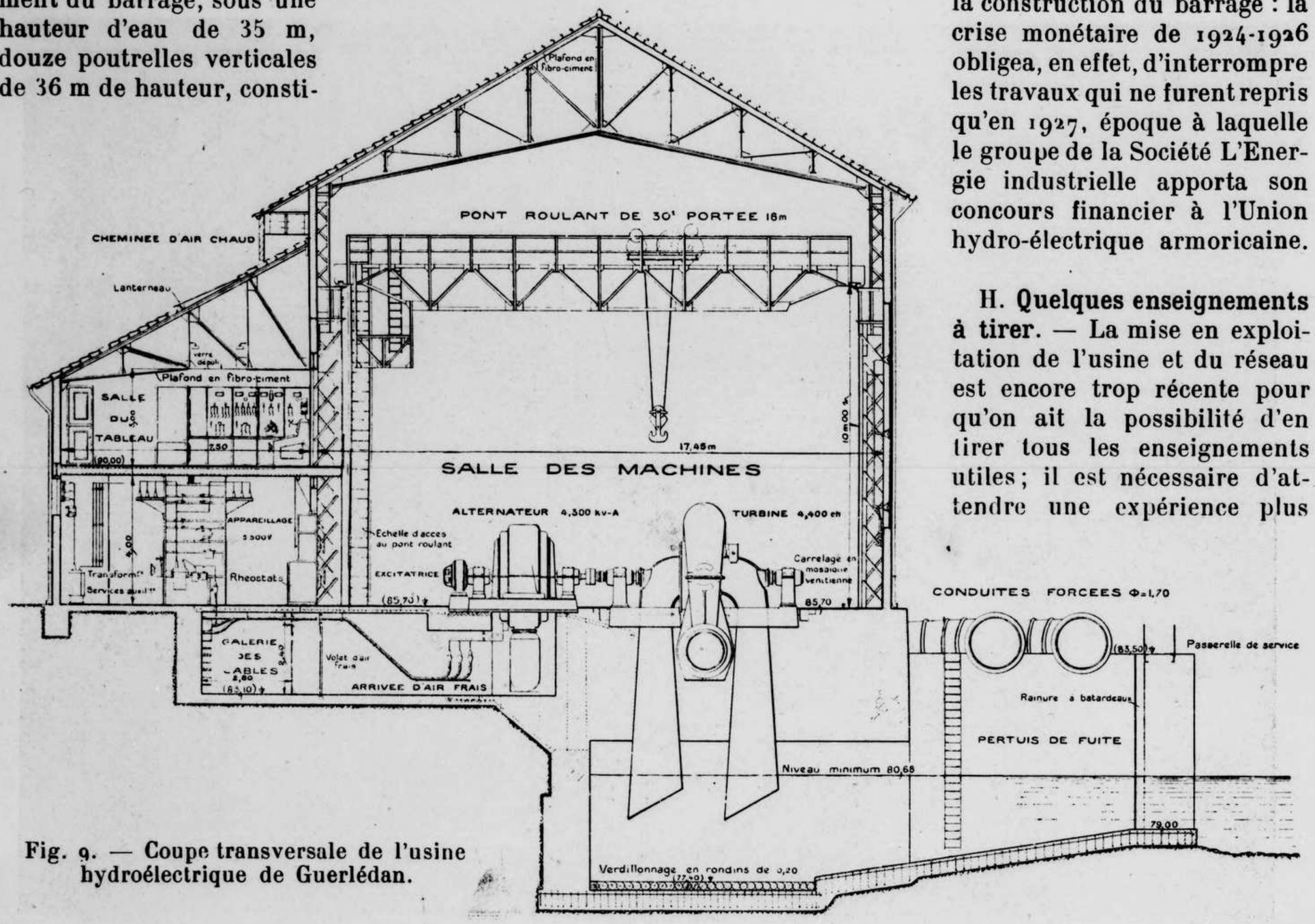


Fig. 9. — Coupe transversale de l'usine hydroélectrique de Guerlédan.

H. **Quelques enseignements à tirer.** — La mise en exploitation de l'usine et du réseau est encore trop récente pour qu'on ait la possibilité d'en tirer tous les enseignements utiles; il est nécessaire d'attendre une expérience plus prolongée. Néanmoins, nous indiquerons, très succinctement d'ailleurs, les trois points suivants :

Tont d'abord, en ce qui concerne les fondations de barrages, particulièrement dans les grès, granits et schistes, il convient de multiplier les sondages, en raison de la présence possible de failles. Comme nous l'avons dit plus haut, à Guerlédan, en raison de la circulation des bateaux, on avait cru pouvoir s'abstenir de faire des sondages dans le radier de l'écluse où précisément une faille a été rencontrée.

Le tracé du barrage en plan est en alignement droit ; il semble qu'on tende à revenir à l'arc de cercle à très grand rayon de courbure, différant peu de l'alignement droit disposition avec laquelle les joints des blocs ont plus de tendance à se serrer. Bornons-nous à cette simple indication sans entrer dans la question plus complexe des joints avec les massifs extrêmes.

Enfin, étant donné l'accident survenu à l'une des vannes de vidange et les difficultés rencontrées déjà dans d'autres barrages, l'attention doit être particulièrement appelée sur les dispositions et les dimensions des organes de ces vannes.

II. **L'usine hydroélectrique et le poste de transformation.** — Cette partie des ouvrages ne présentant pas de dispositions très particulières sera décrite très

succinctement. Les conduites forcées, maintenues à leur base par un massif d'ancrage, pénètrent dans l'usine au-dessous du niveau du dallage et aboutissent chacune à un robinet du type sphérique de 1,30 m de diamètre, directement relié à une turbine Francis de 3 200 kw à axe horizontal et à double évacuation symétrique. Un déchargeur hydraulique à pointeau, commandé automatiquement par le régulateur de vitesse, limite les surpressions dans la conduite forcée et la huche de la turbine, au moment des suppressions brusques de charge provoquées par le déclenchement des disjoncteurs.

Chaque turbine rejette l'eau dans un canal de fuite séparé dont le niveau d'étiage est de 82,60 m, laissant une hauteur de chute utile maximum de 42,45 m lorsque la retenue est pleine. Le débit maximum dérivé par turbine est de 9,5 m^3 : s. L'emplacement d'une quatrième turbine, d'une puissance de 4 400 kw, a été ménagé dans l'usine pour pouvoir ultérieurement augmenter la puissance de pointe. A chaque turbine est accouplé rigidement un alternateur de 4 300 kv-a, avec excitatrice en bout d'arbre, qui produit le courant triphasé à 5 500 v, 50 p : s. La figure 9 représente une coupe de l'usine et la figure 10 représente une vue intérieure de la salle des machines.

Un pont roulant de 30 t a été installé pour les montages. Des galeries ont été ménagées en sous-sol pour le passage des câbles et pour la circulation d'air dans les alternateurs ; l'air chaud est évacué à l'extérieur par des cheminées, mais des registres manœuvrables de la salle permettent soit de fermer les gaines d'aération en cas d'inflammation des isolants d'une machine, soit de réchauffer l'air de la salle en hiver pour éviter des condensations gênantes.

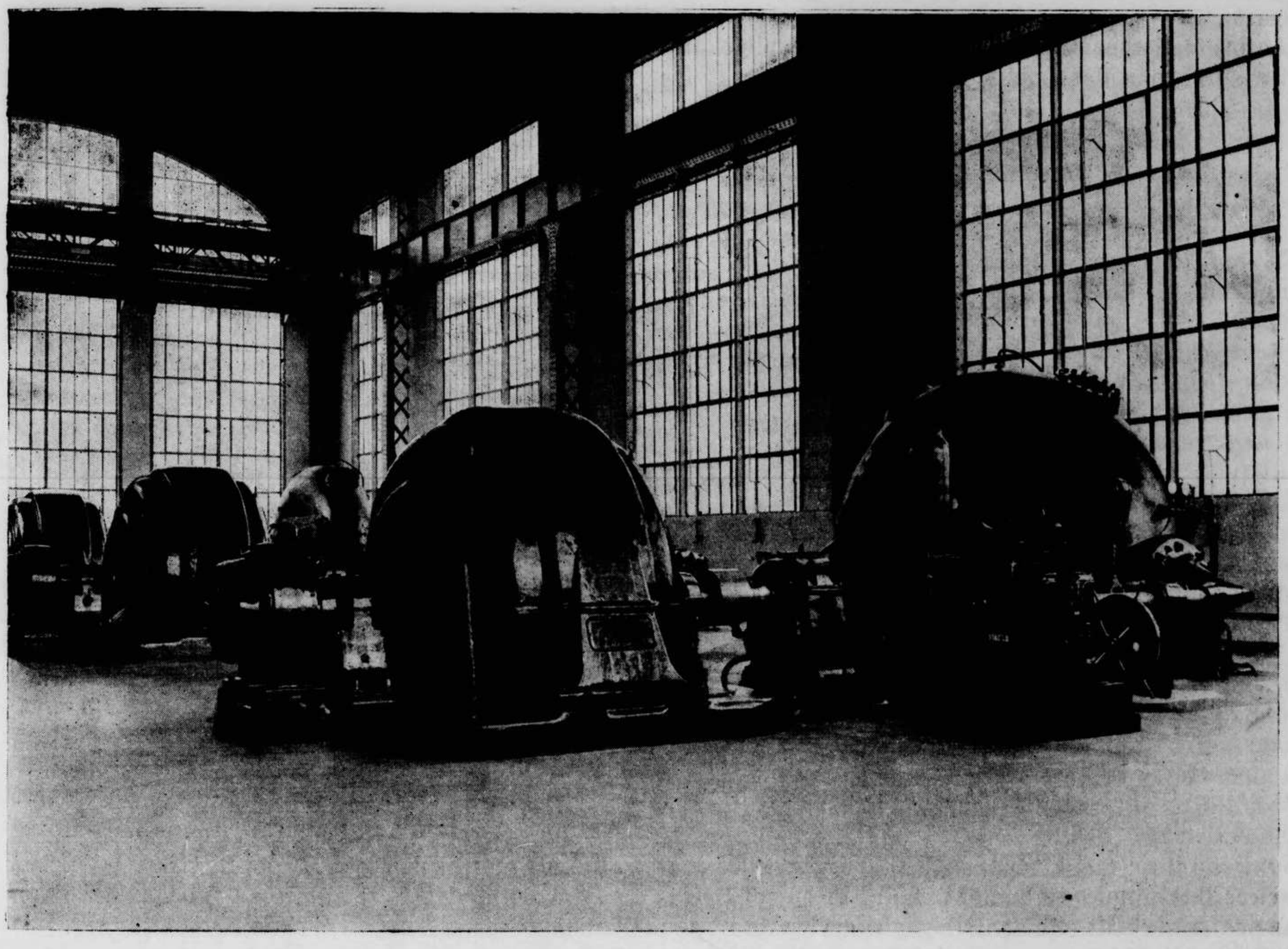


Fig. 10. — Vue intérieure de la salle des machines.

La commande des alternateurs et le réglage de vitesse des turbines se font d'un pupitre placé en balcon à 4,50 m au-dessus de la salle des machines. En arrière de ce pupitre se trouve le tableau qui rassemble les appareils de contrôle et de commande des transformateurs et des départs des lignes, ainsi que les régulateurs automatiques de tension. On a ramené également à côté du tableau les indicateurs enregistreurs des niveaux d'eau dans la retenue et dans le bief aval.

L'appareillage électrique à 5 500 v se trouve sous ce tableau et des câbles, placés sur tablettes en ciment armé, relient les alternateurs aux disjoncteurs et ceux-ci aux transformateurs élévateurs.

Le poste de transformation est établi à côté de l'usine

et est équipé par trois transformateurs de 4 500 kv-a, à 45 000 v, reliés chacun à un alternateur, mais avec barres de by-pass, et par deux transformateurs de 1 000 kv-a à 15 000 v connectés sur ces barres auxiliaires.

Les transformateurs sont du type extérieur; par contre, en raison du climat très pluvieux de la Bretagne, l'appareillage à haute tension est sous toiture, monté sur charpentes métalliques, mais sans cellules.

La disposition adoptée comprend, d'une part, un double jeu de barres à 45 000 v avec disjoncteurs sur les trois transformateurs et sur trois départs dont un double et, d'autre part, un jeu de barres à 15 000 v avec disjoncteurs sur les deux transformateurs et sur deux départs.

La protection contre les surtensions atmosphériques est assurée par des bobines d'écoulement, dont les voltmètres indicateurs sont reportés au tableau général. Toutes les commandes des disjoncteurs sont faites du tableau, au moyen du courant d'une batterie d'accumulateurs et toutes les disjonctions sont également annoncées au tableau.

III. **Réseau de distribution.** — Le réseau ne comprend que des lignes à haute tension partant de l'usine de Guerlédan. Il comprend 290 km de lignes à 45 000 v et 65 km de lignes à 15 000 v dont la carte sommaire (fig. 11) montre la répartition. La ligne principale, à 6 fils, est celle de Lorient, qui aboutit à un poste abaisseur de 8 000 kv-a dont les tensions secondaires sont à 6 600 et 3 000 v. A Auray se trouve un poste de 1 000 kv-a pour l'alimentation des lignes à 15 000 v de la région de Carnac à Quiberon.

Par les lignes à 45 000 v, l'usine de Guerlédan fonc-

Fig. 11. — Carte du réseau de l'Union hydro-électrique armoricaine et des réseaux interconnectés et à interconnecter.

tionne simultanément en parallèle avec les usines génératrices thermiques de Lorient, Saint-Brieuc et Saint-Nazaire. A Lorient, elle contribue au service du réseau de la Société bretonne d'Electricité et elle alimente l'arsenal de Lorient. A Saint-Brieuc, elle est reliée avec le réseau de distribution de la Société Lebon et Cie. A Vannes et à Ploërmel, le réseau armoricain est connecté avec celui de la Basse-Loire (Saint-Nazaire).

Plus tard le réseau sera encore relié par Merdrignac avec l'usine génératrice de Rennes, par Carhaix avec les usines génératrices de Brest et par Hennebont avec celle de Quimper. On voit par ce court exposé la situation particulièrement favorable de ce réseau qui permet ou va permettre des échanges de courant avec toutes les usines génératrices thermiques de la région bretonne.

En 1923, ses visées étaient limitées à Saint-Brieuc et Lorient, ce qui explique l'adoption de la tension de 45 000 v qui était celle du réseau existant de la Société Lebon et Cie. Le rayon d'action actuel aurait justifié l'adoption de la tension de 60 000 v qui aurait donné plus de souplesse aux échanges.

Le réseau ayant été construit progressivement, en même temps que le barrage, a fonctionné partiellement dès 1925 à la tension provisoire de 15 000 v en utilisant du courant venant de Lorient et de Saint-Brieuc. La tension du réseau a été portée à 45 000 v en janvier 1930.

On compte que le réseau pourra recevoir, en année moyenne, de l'usine de Guerlédan, environ 30 millions de kilowatts-heures qu'il est facile d'absorber dès maintenant dans la région.

La facilité de recourir à l'énergie thermique des usines à vapeur, de préférence pendant les heures creuses de ces dernières et surtout pendant les mois

de basses eaux, permet de prévoir une importante augmentation de la quantité d'énergie distribuable, en installant le quatrième groupe de l'usine de Guerlédan pour accroître convenablement la puissance de pointe.

En outre, l'Union hydro-électrique armoricaine a demandé la concession d'un groupe de sept petites chutes sur le Blavet canalisé, au voisinage de l'importante région d'Hennebont, chutes dont l'étiage se trouvera amélioré par la régularisation saisonnière due au barrage de Guerlédan ; la réalisation de l'aménagement étudié donnera un appoint de puissance hydraulique de l'ordre de 3 000 kw qui semble pouvoir être obtenu dans des conditions satisfaisantes.

IV. **Conditions d'exécution des travaux.** — L'entreprise générale du barrage et de l'usine a été confiée à la Société générale d'Entreprises. Les travaux ont été commencés en avril 1923, mais ont dû être interrompus de 1925 à 1927 en raison de la crise économique et financière; ils étaient suffisamment avancés en décembre 1929 pour permettre la mise en exploitation progressive de l'usine. Tous les ouvrages ont été définitivement parachevés en juin 1930.

L'entreprise des travaux de la chute a été conduite par MM. Duval et Renaud, ingénieurs en chef, MM. Ancourt et Descottes, ingénieurs et par les chefs de service successifs des chantiers : MM. Martin, Villemagne et Antoine. M. Villemagne, ancien ingénieur des Travaux publics de l'Etat, a fourni l'effort principal d'avril 1927 à février 1930, date à laquelle cet excellent collaborateur est décédé sans avoir abandonné son chantier.

Le service du Contrôle de l'Etat a été assuré pendant toute la construction par M. Rault, ingénieur des Ponts et Chaussées à Pontivy, sous la direction de M. Verrières, ingénieur en chef du département du Morbihan, jusqu'en 1925, puis sous celle de M. Perret à partir de 1926.

Tous les travaux qui viennent d'être décrits ont été exécutés sous la direction de M. Vennin, ingénieur en chef des Poudres, l'un des administrateurs-délégués de l'Union hydro-électrique armoricaine, avec la collaboration de M. Leson, ingénieur E. S. E., directeur de l'exploitation et, depuis 1927, avec le concours de M. Courtaigne, ingénieur des Ponts et Chaussées, ingénieur-conseil de la Société L'Energie industrielle et de M. Fontannaz, ingénieur chargé de la surveillance des chantiers.

Le coût total des travaux, installations et matériel du barrage et de l'usine s'élève à 34 millions de francs, en chiffres ronds, non compris les achats de terrains, frais généraux et intérêts intercalaires.

Les turbines ont été fournies par les Constructions électriques de France; les alternateurs, transformateurs et l'appareillage électrique, par les Ateliers de Constructions électriques de Lyon et du Dauphiné; les vannes, par la maison Schneider-Jaquet, les conduites forcées par les Etablissements Bouchayer et Viallet; les robinets sphériques des conduites par les Ateliers Neyret-Beylier et Piccard-Pictet; les transformateurs des postes du réseau, par la Compagnie française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston, maintenant Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom), et l'appareillage de ces postes, par les Etablissements Merlin et Gerin.

Les travaux du réseau ont été exécutés de 1924 à 1926 par la Société générale d'Entreprises et de 1927 à 1930 par la Société L'Entreprise industrielle. La dépense pour ces travaux s'élève en nombre rond à 16 millions de francs.

V. **Régime administratif et financier.** — L'Union hydro-électrique armoricaine, constituée en 1923 sous le régime commun de la loi du 24 juillet 1867 sur les sociétés anonymes, a fait appel aux dispositions prévues par la loi du 16 octobre 1919 pour la participation financière des collectivités intéressées dans les entreprises d'aménagement hydroélectrique. C'est ainsi que l'Etat et les Départements des Côtes-du-Nord et du Morbihan sont à la fois actionnaires et obligataires de la société ; la Ville de Lorient, qui a passé contrat avec la société pour son éclairage public et son service d'eau, est également son actionnaire.

Le capital initial a été constitué par 4 millions d'actions de priorité et 8 millions d'actions ordinaires, ces dernières réparties entre les quatre collectivités susvisées. Pour assurer à la société précitée la liberté de sa gestion industrielle, les actions de priorité ont été douées d'un droit de vote triple de celui des actions ordinaires.

Le capital actions a été ultérieurement porté à 32 millions de francs par l'émission de 20 millions d'actions privilégiées et il a été émis 18 millions d'obligations dont 11 millions représentant des avances de l'Etat et des Départements faites respectivement pour 50 et 40 ans. En outre, une subvention à fonds perdus de 1,5 million de francs avait été obtenue du Ministère des Travaux publics.

L'Union hydro-électrique armoricaine a obtenu pour 75 ans la concession de la chute de Guerlédan par décret du 30 août 1923 et la concession de distribution pour la même durée, par décret du 8 mars 1924, avec un avenant à ces deux concessions par décret du 20 juillet 1927.

Tout l'ensemble, usine et réseau, est actuellement en exploitation normale et, grâce au concours de l'Etat et des Départements, l'Union hydro-électrique armoricaine a pu contribuer dans une très large mesure au développement des applications de l'électricité dans toute la Bretagne, tant par l'abaissement des tarifs que par la création nouvelle de lignes de distribution. Cette situation s'améliorera encore dans l'avenir après les jonctions avec les usines génératrices thermiques de Rennes, de Quimper et de Brest. En outre, l'usine de Guerlédan pourra servir à régulariser le fonctionnement de certaines usines marémotrices, comme celle de l'Aber-Wrac'h par le jeu de la retenue de son barrage.

A. Monmerqué,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien président du Comité d'Electricité au Ministère des Travaux publics.

Étude des formes à adopter pour les sections des pylônes en béton

Dans le calcul des pylônes et poteaux des lignes de transmission, toute l'attention est portée sur l'effort au sommet du support dirigé perpendiculairement à la ligne, la composante parallèle à la ligne étant supposée négligeable, au moins pour les pylônes d'alignement. L'auteur montre que cette façon de procéder constitue une erreur, l'effort dirigé dans le sens de la ligne pouvant souvent être appréciable. En Angleterre, en particulier, les considérations relatives à cet effort ont conduit à l'adoption d'une forme en T *pour la section des pylônes en béton. Les résultats comparés du calcul appliqué à diverses formes de la section de pylônes font ressortir dans cet article l'avantage de cette forme en* T.

Les supports les plus employés aujourd'hui, pour les lignes à haute tension, sont, du moins pour les lignes d'intérêt secondaire, jusqu'à 30 000 v, les pylônes en béton, dont les avantages ne sont plus à souligner. Dans ces lignes, d'ailleurs, les intensités du courant distribué restent assez faibles, et aussi bien pour faciliter les travaux d'installation que pour éviter d'immobiliser un poids de cuivre parfois injustifié pour les besoins de l'exploitation, on s'en tient, pour les conducteurs en cuivre, aux diamètres de 3 mm et 3,5 mm et on dépasse rarement 4 mm.

I. **Efforts supportés par les poteaux.** — 1. Effort au sommet dans le sens perpendiculaire a la ligne. — Les pylônes en béton sont définis par l'effort utile au sommet qu'ils peuvent supporter dans le sens perpendiculaire à la ligne. Pour un tracé en alignement, par exemple, il est admis que les supports n'ont à résister qu'à l'effet du vent, dont l'effort maximum est fixé par les règlements, sur les conducteurs, abstraction faite de l'effet du même vent sur la face qui lui est offerte par le pylône,

Suivant le diamètre des conducteurs utilisés et la portée entre supports, l'effort utile au sommet des poteaux a donc, pour une ligne à trois fils, les valeurs limites suivantes, en kilogrammes :

Portées.	60	70	80	90	100 m
Fil de 3 mm.....	39	46	52	59	65 kg
Fil de 3,5 mm....	46	54	61	68	76
Fil de 4 mm.....	52	61	69	78	87

Il en résulte que le pylône de 100 kg est suffisant pour toutes les portions en alignement droit et le maximum de l'effort, bien entendu, est atteint avec les conducteurs de 4 mm. Cependant le support devrait pouvoir résister à d'autres efforts dont il va être question.

2. Effort au sommet dans le sens parallèle a la ligne. — La plupart des constructeurs ne donnent pour ce sens aucune garantie; il est fréquent, par suite, que le montage d'une ligne et le réglage des portées soient rendus très difficiles par l'excessive flexibilité des pylônes.

En alignement, une fois les fils tendus et ligaturés sur les isolateurs, les tensions s'équilibrent rigoureusement, si toutefois les deux portées adjacentes sont égales. Mais on sait qu'il suffit d'un écart de longueur entre ces deux portées pour déterminer, dès que les conditions atmosphériques ne sont plus celles de la pose, une différence de tension, appliquée, en définitive, au sommet du poteau et qui peut atteindre une valeur appréciable. En France, les conducteurs sont tirés et réglés de manière qu'en aucun cas, la tension unitaire dans le cuivre ne dépasse la limite de 13 kg : mm².

Si l'on s'en tient, à titre d'exemple, au fil de 4 mm qui correspond au diamètre le plus défavorable, on peut évaluer facilement, d'après les abaques de M. Blondel, les taux de travail du cuivre, dans les deux hypothèses envisagées par les circulaires ministérielles (les efforts du vent étant de 72 kg et de 18 kg par mètre carré de section longitudinale).

En supposant la température normale de la région à 15°C et la plus froide à — 15°C, on obtient les résultats reportés dans le tableau I et sur le graphique de la figure 1.

Tableau I. — *Tensions dans les différentes portées pour un taux de travail maximum de 13 kg : mm² (fil de cuivre de 4 mm).*

PORTÉES	TENSIONS		
	pose à 15°C sans vent	à 15°C vent de 72 kg : m²	à — 15°C vent de 18 kg : m²
m	kg : mm²	kg : mm²	kg : mm²
30	7	9,7	13
40	7,1	10,8	13
50	7,2	11,8	13
60	7,4	12,6	13
65	7,5	13	13
70	7,2	13	12,4
80	6,6	13	11,2
90	6,3	13	9,8
100	5,9	13	8,6

On peut remarquer, notamment, que pour le régime de vent maximum à la température ordinaire de la région, pour deux portées adjacentes de 30 et 70 m, il résulte une différence de tension de 3,3 kg : mm²,

soit un effort de 125 kg pour la section totale de 37,63 mm², qui est celle de trois fils de 4 mm. De même, pour le régime d'hiver, entre deux portées contiguës de 60 et 100 m, l'écart peut atteindre 4,4 kg : mm², ou 166 kg pour les trois conducteurs de la ligne.

Tant qu'on a utilisé les poteaux de bois et par suite les faibles portées, le problème ne se posait pas. On

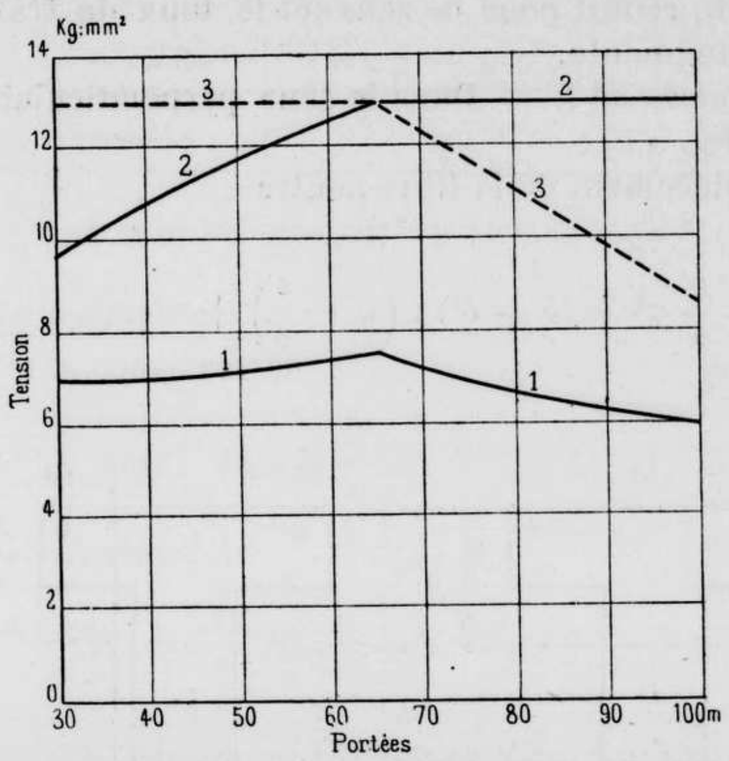


Fig. 1. — Variation des tensions du conducteur, de 4 mm de diamètre, en fonction de la portée : 1, à la température de pose, + 15° C, sans vent; 2, à la température de + 15° C, avec vent de 72 kg : m² ; 3, à la température de — 15° C, avec vent de 18 kg : m².

peut en dire autant des pylônes en treillis de cornière métallique, dont la résistance est égale dans les deux sens orthogonaux. De même, l'emploi, pendant un certain temps, des fers en I à larges ailes, souligne bien la nécessité d'assurer une résistance dans le sens de la ligne.

Les mêmes précautions devraient être prises pour les lignes sur pylônes en béton, chaque fois qu'il y a une différence de longueur entre deux portées adjacentes, ce qui est le cas général, et bien qu'aucune justification ne soit explicitement imposée par les arrêtés techniques. Il est clair, en effet, que si les conditions atmosphériques déterminent, comme il a été montré plus haut, un effort dépassant 100 kg dans le sens de la ligne, on se trouve bien en présence des circonstances défavorables prévues, sinon toutes énumérées dans la loi.

Les compagnies de chemins de fer, d'ailleurs, le comprennent bien ainsi, en demandant les calculs de vérification des taux de travail des matériaux, pour le sens de la ligne.

3. Rupture de fils. — Si la rupture n'intéresse que deux ou un seul fil, l'équilibre se rétablit, de proche en proche, par une flexion de la tête des pylônes, qui n'est généralement pas fatale aux supports. Cependant, il arrive, le plus souvent, que la rupture se produit sur les trois conducteurs. Pour trois fils de 4 mm de diamètre, par exemple, et pour la tension de 13 kg : mm², l'effort de traction total au sommet du pylône, au moment de l'accident, peut atteindre 490 kg.

Cette hypothèse de la rupture de tous les fils d'une portée est également examinée dans les traversées de voies ferrées, et la loi fixe à 1,25 le coefficient de sécurité exigé. Il ne paraît pas exagéré de prévoir le coefficient 1, au moins pour les simples pylônes de lignes secondaires de transmission d'énergie, qui bordent dangereusement un grand nombre de nos routes.

En résumé, cette question ne préoccupe pas assez les constructeurs, ni parfois les sociétés exploitantes, tandis qu'en Angleterre, au contraire, où pourtant les campagnes sont encore moins habitées, les pylônes sont mieux construits, en vue de résister, dans les deux directions orthogonales, aux efforts auxquels ils sont susceptibles d'être soumis.

II. Résultats comparés relatifs à des pylônes en béton de section de formes diverses.

— Les considérations qui précèdent expliquent la faveur des pylônes en béton à section en T dont la forme permet d'obtenir, dans le sens de la ligne, une résistance appropriée, de préférence aux sections plus usitées en France, rectangulaire, ou en I, exception faite toutefois, du poteau à section circulaire, pour autant qu'il reste symétrique au point de vue mécanique, c'est-à-dire, qu'il présente une répartition uniforme des barres de l'armature en fer.

1. Formules générales. — Les formules employées pour déterminer dans le calcul des pylônes en béton la position de la fibre neutre dans une section et son moment d'inertie, sont les suivantes pour l'un et l'autre des deux sens de travail envisagés précédemment.

1° *Cas du poteau rectangulaire.* — Dans le sens perpendiculaire à la ligne (fig. 2 a) :

Emplacement de la fibre neutre

$$o = \frac{b}{2} y^2 + m\omega (2y - h);$$

Moment d'inertie,

$$I = \frac{b}{3} y^3 + m\omega [(y - a)^2 + (h - y - d)^2];$$

Taux de travail :
Béton, à la compression

$$R_b = \frac{M}{I} y;$$

Aciers, à l'extension

$$R_a = \frac{15}{y} R_b (h - y - d),$$

M étant le moment fléchissant.

Dans le sens parallèle à la ligne (fig. 2 b) :

Emplacement de la fibre neutre

$$o = \frac{h}{2} x^2 + m\omega (2x - b);$$

Moment d'inertie

$$J = \frac{h}{3} x^3 + m\omega [(x - d)^2 + (b - x - d)^2];$$

Taux de travail :
Béton, à la compression

$$R_{b_1} = \frac{M_1}{J} x;$$

Aciers, à l'extension

$$R_{a_1} = \frac{15}{x} R_{b_1} (b - x - d),$$

M_1 étant le moment fléchissant.

Si le pylône est ajouré, le moment d'inertie est, bien entendu, réduit pour ce sens et le taux de travail du béton augmente.

2° *Poteau en* I. — Dans le sens perpendiculaire à la ligne (fig. 2 c) :

Emplacement de la fibre neutre

$$o = \frac{b'}{2} y^2 + (b - b') \varepsilon \left(y - \frac{\varepsilon}{2}\right) + m\omega (2y - h);$$

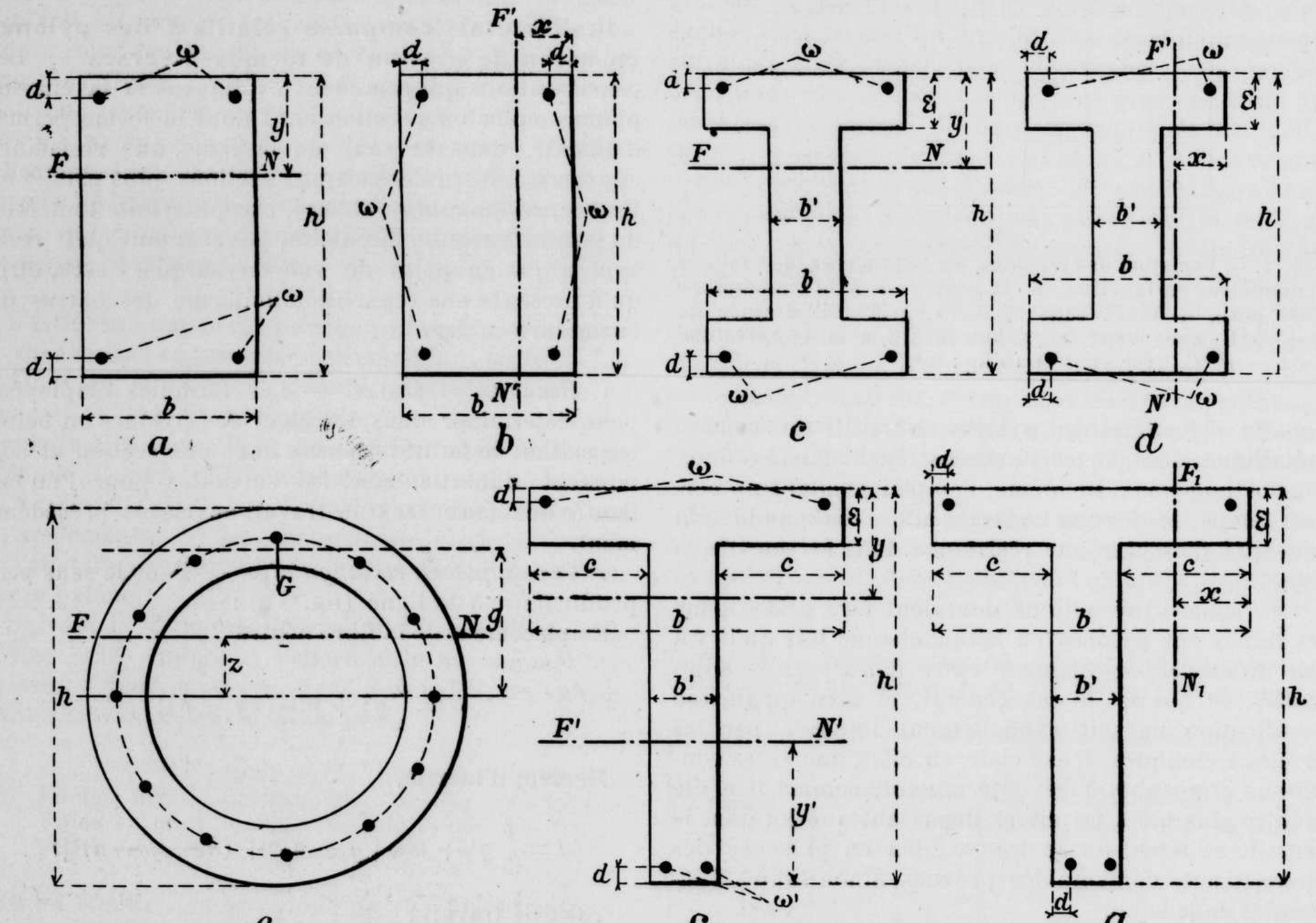


Fig. 2. — Sections considérées des pylônes: a et b, sections rectangulaires, effort dirigé dans le sens perpendiculaire à la ligne (a), et dans le sens parallèle à la ligne (b); c et d, section en I, effort dirigé dans le sens perpendiculaire à la ligne (c) et dans le sens parallèle à la ligne (d); e, section circulaire; f et g, section en T, effort dirigé dans le sens perpendiculaire à la ligne (f) et dans le sens parallèle à la ligne (g).

Moment d'inertie

$$I = \frac{b'}{6} y^3 + (b - b') \varepsilon^2 \left(\frac{y}{2} - \frac{\varepsilon}{3}\right) + m\omega (y - d) a$$

$$- m\omega (h - y - d) (h - d);$$

Taux de travail :

Béton, à la compression

$$R_b = \frac{M}{I} y;$$

Aciers, à l'extension.

$$R_a = \frac{15}{y} R_b (h - y - d).$$

Dans le sens parallèle à la ligne (fig. 2 d) :
Emplacement de la fibre neutre

$$0 = \varepsilon x^2 + 2 m\omega x - m\omega b;$$

Moment d'inertie

$$J = \frac{2}{3} \varepsilon x^3 + m\omega [(x - d)^2 + (b - x - d)^2];$$

Taux de travail :
Béton, à la compression

$$R_{b_1} = \frac{M_1}{J} x;$$

Aciers, à l'extension

$$R_{a_1} = \frac{15}{x} R_{b_1} (b - x - d).$$

3° *Poteau circulaire.* — On désigne (fig. 2 e) par g la distance du centre de gravité de la section comprimée au centre géométrique ; par z la distance de la fibre neutre au centre géométrique ; par ω la demi-section globale des aciers ; Ω la section totale du béton et par h, h', les diamètres extérieur et intérieur,

$$g = \frac{h^3 - h'^3}{6\Omega}, \quad z = \frac{g\Omega}{\Omega + 2 m\omega}, \quad y = \frac{h}{2} - z.$$

Moment d'inertie dans les deux sens

$$I = J = \frac{\pi}{128} (h^4 - h'^4) - \frac{\Omega}{2} z (2g - z) + \frac{m\omega}{4} [(h + h')^2 + 4z^2];$$

Taux de travail :
Béton, à la compression

$$R_b = \frac{M}{I} y = \frac{M}{J} y;$$

Aciers, à l'extension

$$R_a = \frac{m}{I} M \left(\frac{h + h'}{2} + z \right),$$

M étant le moment fléchissant à l'encastrement (unités de mesure, centimètre et kilogramme).

4° *Poteau en* T. — Dans le sens perpendiculaire à la ligne (fig. 2 f), l'équation de la circulaire ministérielle pour la position de la fibre neutre est

$$0 = \frac{b'}{2} y^2 + (b - b') \varepsilon \left(y - \frac{\varepsilon}{2} \right) + m\omega (y - d) - m\omega' (h - y - d).$$

Si on pose $\omega' = \frac{\omega}{2}$ et $2c = b - b'$, il vient

$$0 = b' y^2 + y (4c\varepsilon + 3 m\omega) - m\omega (h + d) - 2c\varepsilon^2$$

et pour le sens diamétralement opposé

$$0 = \frac{b'}{2} y'^2 + 3 m\omega y' - m\omega (2h - d).$$

Moments d'inertie correspondants

$$I = \frac{b'}{3} y^3 + \frac{2c}{3} \varepsilon^3 + 2c\varepsilon y (y - \varepsilon) + m\omega (y - d)^2 + \frac{m\omega}{2} (h - g - d)^2$$

et

$$I' = \frac{b'}{3} y'^3 + \frac{m\omega}{2} (y' - d)^2 + m\omega (h - y' - d)^2.$$

Taux de travail :
Béton, à la compression

$$R_b = \frac{M}{I} y \quad \text{ou} \quad R'_b = \frac{M}{I'} y';$$

Aciers, à l'extension

$$R_a = \frac{15}{y} R_b (h - y - d)$$

ou

$$R'_a = \frac{15}{y} R'_b (h - y' - d).$$

Dans le sens parallèle à la ligne (fig. 2 g) :
Position de la fibre neutre

$$0 = \frac{\varepsilon}{2} x^2 + \frac{m\omega}{2} (x - d) - \frac{m\omega}{2} (b - x - d) - \frac{m\omega}{4} (b - 2x);$$

Moment d'inertie

$$J = \frac{\varepsilon}{3} x^3 + \frac{m\omega}{2} [(x - d)^2 + (b - x - d)^2] + \frac{m\omega}{4} [(c + d - x)^2 + (c + b' - d - x)^2].$$

Taux de travail :
Béton, à la compression

$$R_{1b} = \frac{M_1}{J} x;$$

Aciers, à l'extension

$$R_{1a} = \frac{R_{1b}}{x} \times 15 (b - x - d).$$

Les notations adoptées sont, d'ailleurs, celles de la circulaire ministérielle relatives à l'emploi du béton.

Quelle que soit la forme de la section en béton, on peut toujours, en noyant assez de fer, obtenir un pylône capable, au sommet, de l'effort utile que l'on veut. Pour établir une comparaison, il faut donc que les

sections d'acier soient sensiblement identiques, de même que les taux de travail de l'acier et du béton.

2. Résultats comparés. — A titre d'exemple, on peut choisir le support en béton de 11 m de hauteur totale et capable de supporter un effort de 150 kg au sommet, pour le coefficient de sécurité 3, support qui est, pour

Tableau II. — *Dimensions adoptées, en centimètres et centimètres carrés.*

TYPE	h	b	b'	ε	SECTION D'ACIER $\omega + \omega'$	S
	—	—	—	—		—
Rectangulaire.	27	16	—	—	8 barres diamètre 12 mm	432
Forme I.....	27	18	6	7	8 barres diamètre 12 mm	330
Circulaire....	36	26	—	5	12 barres diamètre 10 mm	487
Forme T.....	40	29	5	5	6 barres diamètre 14 mm	320

ainsi dire, le pylône type dans la construction des lignes secondaires à haute tension; les calculs correspondent à la section d'encastrement, c'est-à-dire à 9,30 m du sommet. Les taux de travail limites adoptés sont: pour le béton 80 kg : cm² et pour l'acier dur 21,7 kg: mm²; ils correspondent aux limites de rupture de 225 kg: cm² pour le béton et 65 kg : mm² pour l'acier dont la limite d'élasticité est, d'autre part, de 44 kg : mm².

La somme $\omega + \omega'$ représente la section totale d'acier, de part et d'autre de la fibre neutre, et S la superficie géométrique de la section d'encastrement, c'est-à-dire, à peu de chose près, celle du béton.

Tableau III. — *Résultats du calcul pour les efforts dirigés dans le sens perpendiculaire à la ligne, le moment fléchissant utile étant de 1 395 m-kg.*

FORME DE LA SECTION	MOMENT DÛ AU VENT	MOMENT TOTAL	y	I	R_b	R_a	Section totale
	m-kg	m-kg	cm	cm⁴	kg:cm²	kg:cm²	mm²
Rectangulaire....	622	2 017	8,6	21,980	80	2 130	9,04
I.....	658	2 053	8,6	22,044	80	2 150	9,04
Circulaire.	832	2 227	11,5	32,200	79	2 270	9,23
T.....	882	2 227	18	53,00	78	1 120	9,42
			8	45,830	40	2 164	

Le résultat des calculs est indiqué dans les tableaux III et IV, pour les deux sens de travail des pylônes.

Les moments fléchissants sont exprimés en mètres-kilogrammes et les taux du travail en kilogrammes par centimètre carré. Ce tableau montre bien, d'après les taux de travail auxquels on arrive, l'identité au point de vue mécanique des différents types envisagés.

Tableau IV. — *Résultats du calcul pour les efforts dirigés dans le sens parallèle à la ligne.*

TYPE	x	J	R_b	R_a	RESTE DISPONIBLE		Coefficient (1) $\frac{E}{S}$
					moment	effort	
	cm	cm⁴	kg	kg	m-kg	kg	
Rectangulaire...	5,2	6 064	80	1 800	930	100	0,232
I.....	6,7	7 000	80	1 500	837	90	0,272
Circulaire	6,4	32 200	79,5	2 270	2 227	240	0,492
T.....	9,5	17 200	80	2 080	1 450	155	0,485

(1) E est l'effort total au sommet, en kilogrammes, et S la section d'encastrement, en centimètres carrés.

Ce tableau IV donne, pour les mêmes valeurs des taux limites de travail de l'acier et du béton, le moment total et par suite l'effort que l'on peut appliquer au sommet d'un pylône de 11 m, suivant le type de section considérée.

On peut y remarquer que cet effort est limité, dans chaque cas, par la résistance du béton et que, sauf pour le poteau à section circulaire, l'acier ne parvient pas à son maximum d'emploi.

La dernière colonne indique les valeurs du rapport de l'effort E, au sommet du poteau, à la superficie de la section d'encastrement. Ce rapport peut être pris comme un coefficient d'utilisation. D'autre part, ce qui vient d'être constaté pour la section d'encastrement, peut, bien entendu, s'étendre à toute autre section prise dans la hauteur du support.

Le poteau à section en forme de T serait donc bien, à côté des formes les plus usitées, celui qui permet d'obtenir pour l'effort au sommet, dans le sens de la ligne, la valeur maximum pour la plus petite section de béton, c'est-à-dire, en définitive, avec le minimum de poids.

H. Claude,
Ingénieur E. S. E.

Revues, analyses et informations

Quelques rapports présentés au Congrès international de Mécanique générale (Liége, 1930).

1. Introduction. — Ainsi que nous l'avons annoncé (1), le Congrès international de Mécanique générale aura lieu à Liége, à l'occasion de l'Exposition universelle internationale, du 30 août au 7 septembre 1930. Nous donnons dans les lignes qui suivent les résumés de quelques-uns des rapports qui seront présentés à cette réunion et dont nous avons déjà publié la liste dans le numéro précité de cette revue. Les rapports mentionnés ici nous ont paru plus particulièrement devoir retenir notre attention, soit par leur caractère général

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 2 août 1930, t. XXVIII, p. 33 B.

soit par les questions spéciales qu'ils traitent et qui touchent de près aux applications qui peuvent en être faites dans l'industrie électrique.

La classification adoptée pour la présentation de ces résumés montre d'ailleurs dans quel esprit est conçu ce compte rendu. Nous tenons à remercier ici M. A. Schlag, secrétaire général adjoint du Comité d'Organisation du Congrès international de Mécanique générale, à qui nous devons cette documentation.

2. GÉNÉRALITÉS. — 1° *La normalisation*, par Pierre BLANCHET. — Après avoir défini le problème dans sa généralité, l'auteur indique les caractéristiques d'une normalisation et leur importance pour aboutir à des accords internationaux. Il étudie, d'autre part, les sujets suivants : la série géométrique théorique ; la série géométrique pratique ; la série Renard, son historique, ses avantages et ses applications, ses possibilités.

2° *Analogies électriques mécaniques*, par Max COSYNS. — Cette communication traite de quelques extensions de la méthode de calcul des ensembles mécaniques par les analogies électriques :

1° Loi de similitude et utilisation d'échelles variables ;

2° Extension à certains ensembles mécaniques à plusieurs degrés de liberté ;

3° Etude des analogies électriques des systèmes mécaniques à liaison non permanente ou à frottement variable pouvant aller jusqu'au calage (étude des freins, embrayages, etc., en période transitoire) ;

4° Utilisation des schémas équivalents réels et de l'oscillographe cathodique pour calculer rapidement ces ensembles ; utilisation, dans ce cas, des analogies mécaniques des phénomènes d'ionisation des gaz sous faible pression ;

5° Application de ces méthodes à l'étude de l'usure ondulatoire des rails de tramways, en roulement libre ou freiné

3. CONDUITES FORCÉES. — 1° *Note sur la théorie des coups de bélier*, par L. BERGERON. — Deux théories sont en présence, la plus ancienne considère l'eau et le tuyau comme absolument rigides ; la plus récente, due à M. Alliévi, tient compte de l'élasticité de l'eau et du tuyau. Celle-ci révèle que le phénomène se produit sous la forme d'une propagation d'onde de pression qui remonte du point où l'on produit la variation d'ouverture jusqu'au réservoir et en revient changée de signe et l'expérience vérifie que les choses se passent bien ainsi.

Dans la théorie de M. Alliévi, l'établissement de ses équations n'est possible qu'en négligeant un terme $V\frac{\partial V}{\partial x}$. C'est la raison pour laquelle cette théorie donne des résultats extrêmement éloignés de la vérité toutes les fois que l'orifice qui varie de section est grand par rapport à la section du tuyau. Si l'on conserve ce terme $V\frac{\partial V}{\partial x}$ il est possible, à l'aide d'une autre approximation faite dans la seconde équation de M. Alliévi, de trouver des résultats qui concordent alors avec la vérité, quelle que soit l'ouverture même égale à la section du tuyau ou plus grande qu'elle. Les équations nouvelles conduisent à l'hypothèse que l'onde qui se propage n'est pas une onde de pression, mais une onde correspondant à l'énergie totale : travail de l'effort de pression plus énergie cinétique. On trouve ainsi une modification à la série enchaînée de M. Alliévi qui donne les résultats exacts quelle que soit la grandeur de l'orifice de sortie et qui reconstitue la série donnée par M. Alliévi dans le cas où l'orifice est petit.

2° *La mesure du débit en conduite forcée par diaphragmes en mince paroi*, par Albert SCHLAG. — L'auteur indique d'abord les sections entre lesquelles il convient de lire les différences de pression. Ce sont :

a) Soit des sections suffisamment écartées du plan du diaphragme, à l'amont et à l'aval, pour que l'écoulement y soit régulier et que la veine emplisse toute la conduite ;

b) Soit à l'amont, une section non encore influencée par la contraction et à l'aval, la section de contraction maximum ;

c) Soit les plans des deux faces du diaphragme.

L'auteur définit ce qu'il faut entendre, dans chacun de ces cas, par coefficient de débit et montre comment ce coefficient varie :

a) Avec l'emplacement des prises de pression ;

b) Avec le rapport du diamètre de l'orifice au diamètre de la conduite ;

c) Avec le nombre de Reynolds ;

d) Avec le diamètre de la conduite ;

e) Avec la forme de l'orifice et l'épaisseur du diaphragme.

Il signale le degré de précision des mesures de débit que l'installation permet d'effectuer et indique comment cette précision peut être accrue. Il montre ensuite quelle est la perte de charge déterminée par l'installation de l'appareil dans une tuyauterie.

3° *Sur la mesure des débits en conduite forcée par la méthode des tuyères*, par Albert-J. JADOT. — Les variations de pression et de température du fluide, provoquées par la présence d'une tuyère dans une conduite, permettent de calculer le débit, si l'on admet une certaine loi d'écoulement du fluide : le « coefficient de débit » de la tuyère est le rapport entre le débit réellement constaté et la valeur calculée théoriquement ; il est fonction de la forme et des dimensions de la tuyère ; de la tuyauterie dans laquelle elle est placée ; de la nature, l'état et la vitesse du fluide ; des dispositions prises pour mesurer les pressions et températures ; des hypothèses faites quant à la loi d'écoulement.

Dans le but de limiter le nombre d'expériences nécessaires pour étalonner les tuyères, on a cherché à en normaliser le profil, tout en se mettant d'accord sur la méthode de mesure des pressions et sur les bases de calcul du débit théorique. D'autre part, l'application de lois de similitude facilite beaucoup l'étalonnage, en ne faisant plus dépendre la connaissance du coefficient de débit des dimensions de la tuyère, de l'état et de la vitesse du fluide, mais uniquement d'une combinaison convenable de ces divers facteurs.

Ces lois de similitude ne sont qu'une hypothèse, dont les vérifications expérimentales ne sont pas encore suffisamment probantes. Le but des essais entrepris au laboratoire de mécanique appliquée de l'Ecole des Mines de Mons a été de vérifier jusqu'à quel degré de précision on pourrait les appliquer avec confiance.

On a déterminé le coefficient de débit d'une tuyère de 20 mm pour diverses conditions d'écoulement d'eau, dont la température a varié entre 15 et 41°C, avec des pressions motrices correspondant à celles d'une colonne d'eau de hauteur variant de 0,10 m à 4 m. La tuyère a été placée successivement dans une tuyauterie horizontale, à l'extrémité d'une tuyauterie horizontale débitant à l'air libre, à l'extrémité d'une tuyauterie verticale. Différents procédés ont été comparés pour mesurer la hauteur de charge,

La même tuyère a été placée à l'extrémité de la tuyauterie de refoulement d'un compresseur, dont le débit était mesuré de façon absolue par une méthode d'empotement

dans un réservoir jaugé ; des dispositions spéciales étaient prises pour surmonter la difficulté qu'il y a à déterminer exactement la température moyenne de l'air emmagasiné dans le réservoir de mesure.

Pour rendre ces essais comparables, la tuyère a toujours été accompagnée du même tronçon de tuyauterie et la plupart des mesures ont été effectuées avec les mêmes instruments.

Une tuyère de 15 mm a été étalonnée successivement pour la mesure de débits de vapeur et d'eau froide.

Pour permettre la comparaison des résultats obtenus avec ceux que donnent d'autres expérimentateurs, on a employé une tuyère du profil normal préconisé par le Verein deutscher Ingenieure, dont l'étude a déjà donné lieu à de nombreuses publications.

4. Turbines hydrauliques. — 1° *Note sur les courbes caractéristiques des turbines hydrauliques*, par L. Bergeron. — Le point de fonctionnement d'une turbine est caractérisé par la valeur du débit Q, de la hauteur de chute h, du nombre de tours N. L'ensemble de tous les points de fonctionnement est donc sur une surface dans l'espace à trois dimensions. Si l'on maintient N constant, les points de fonctionnement sont sur une courbe représentant la variation de h en fonction de Q qui est une parabole. On démontre que si l'on multiplie h par le rendement manométrique de la turbine, ce qui donne, en quelque sorte, la hauteur recueillie sur la roue, on trouve une droite ascendante d'ordonnée à l'origine négative, égale à $\frac{u_2^2}{g}$, u_2 étant la vitesse circonférencielle à la sortie de la roue. Si l'on change l'angle du distributeur, la roue restant la même, on a pour chaque angle une nouvelle droite. Toutes ces droites forment un faisceau dont le sommet est sur l'axe des hauteurs. Si sur chaque droite on marque le point de rendement maximum, tous ces points sont eux-mêmes sur une autre droite, presque horizontale dans les turbines à faible vitesse spécifique, très descendante dans les turbines à grande vitesse spécifique. Les courbes d'essais relevées sur des turbines à très faible et à très grande vitesse spécifique confirment ces prévisions de la théorie.

2° *Considérations sur la similitude*, par C. Camichel. — Dans cette communication, l'auteur résume les considérations théoriques qui permettent d'établir les lois générales de la similitude et la classification des modes d'écoulement en vue de leur étude sur modèles réduits.

C'est ainsi qu'il faut distinguer les écoulements comportant une surface libre et les systèmes en charge. Dans les mouvements à surface libre, les pressions motrices commandant l'écoulement ne sont pas indépendantes des dimensions linéaires, au contraire de ce qui se passe dans les systèmes en charge pour l'étude desquelles on dispose donc d'un degré de liberté de plus.

Dans chacune de ces classes, l'auteur distingue les liquides parfaits et les liquides visqueux ; enfin, il fait intervenir le régime qui peut être le régime non turbulent ou le régime turbulent.

L'auteur passe ensuite à l'exposé des recherches sur la similitude qu'il effectue depuis sept ans en collaboration avec M. Escande ; il se borne à envisager successivement la similitude de Reech-Froude, la similitude de Reynolds et celle des ouvrages courts.

La similitude de Reech-Froude a fait l'objet de nombreuses vérifications, en particulier sur le mouvement radial déterminé dans une chambre d'eau par l'appel d'un orifice en mince paroi, sur les mouvements giratoires à axe vertical, en régime permanent et transitoire, enfin sur les barrages déversoirs. Cette dernière série d'expériences a montré l'existence d'une couche frontière au contact de la paroi, dont l'épaisseur relative augmente quand les dimensions du modèle diminuent et rend inexacte l'application de la loi de Reech-Froude lorsque les modèles étudiés correspondent à un nombre de Reynolds trop faible. En dehors de cette couche, le mouvement est irrotationnel, ce qui a pour effet d'éliminer l'influence de la viscosité. L'existence de ce potentiel des vitesses a été montrée par M. Camichel et ses collaborateurs au moyen de divers procédés, basés les uns sur la définition du vecteur tourbillon, les autres sur l'application du théorème de Stokes.

Les expériences sur la similitude de Reynolds ont été étendues à certains liquides, dans l'étude des phénomènes concernant l'écoulement d'un fluide visqueux autour d'un obstacle. D'autres recherches ont porté sur la comparaison de l'écoulement d'huile de vaseline, de sirops de sucre de concentrations différentes, d'eau pure, d'essence de pétrole, à l'intérieur de tubes rectilignes ou coudés, lisses ou cabossés, ou cloisonnés.

Ces résultats ont permis à l'auteur de préciser la notion de liquide type pour l'étude des écoulements en charge.

L'auteur termine par l'exposé des résultats particuliers correspondant aux mouvements à très grande turbulence dans lesquels l'influence de la viscosité propre du liquide est masquée par la viscosité fictive due à l'agitation du liquide.

Il se dégage de ces résultats une technique pour les études sur modèles réduits des systèmes en charge.

3° *Les turbines hydrauliques à grande puissance pour basses chutes*, par Ernest Hahn. — L'auteur étudie les problèmes posés par l'exécution de ces machines au point de vue hydraulique et au point de vue mécanique.

Il examine, en particulier, les conditions à remplir, pour réaliser une turbine de grande puissance sous basse chute, le tracé des aubes, les propriétés d'une turbine à grande vitesse, les dangers de cavitation, les tubes d'aspiration.

Au point de vue mécanique il étudie les forces sollicitant les aubes, les efforts à l'intérieur de celles-ci, et les mécanismes de réglage.

5. Chaudières a haute pression. — 1° *La chaudière Atmos*, par M. Ehlinger. — L'auteur examine l'état actuel des chaudières à très haute pression ; d'une part, les chaudières des types couramment adoptés actuellement pour les pressions de l'ordre de 35 kg : cm², modifiées pour des pressions plus élevées dans leurs détails seulement, et, d'autre part, les types spécialement conçus pour la production de vapeur aux pressions de 100 kg : cm² et plus.

Il arrive à la chaudière Atmos et décrit successivement ses différents organes : le réchauffeur d'eau en tubes d'acier à ailettes, les surchauffeurs, enfin les rotors qui sont la partie caractéristique de la chaudière Atmos. Il montre les nombreux avantages des surfaces vaporisatrices rotatives, en particulier la circulation forcée des fluides, la diminution de la température du métal et des fatigues thermomécaniques qui permettent l'emploi de métaux courants du commerce avec une grande sécurité de marche, le nettoyage continu des surfaces de chauffe intérieures et extérieures et la purge automatique. Ces avantages sont accompagnés de dispositions constructives très heureuses qui sont examinées.

L'auteur décrit ensuite l'indicateur de niveau d'eau, qui est spécial à ce genre de chaudières, et son régulateur automatique de l'alimentation combiné avec la purge continue.

Il insiste sur le fait que la chaudière Atmos peut être alimentée avec de l'eau simplement épurée ou brute, si elle n'est pas trop dure, et sur le primage moindre que dans les types courants de chaudières aux pressions habituelles.

Enfin, il passe en revue l'application possible de tous les types de foyers aux chaudières Atmos et en particulier des foyers à charbon pulvérisé, à poussoirs et à grilles à chaîne.

2° *La chaudière Benson,* par L. Herry. — Le rapport rappelle quelques notions et particularités de la vapeur d'eau au point critique (224,2 kg : cm² à 374°C) ainsi que le principe de sa production industrielle.

Un rappel succinct des premiers essais à Rugby et à Siemensstadt précède la description de l'unité de Langerbrugge.

Celle-ci est prévue pour une production de 100 à 135 tonnes de vapeur par heure, surchauffée à 450°C ; elle est alimentée par une pompe Sulzer entraînée par une turbine d'amont de 4000 kw alimentée par de la vapeur à 200 kg : cm². La vapeur de contrepression est resurchauffée à 450°C dans la chaudière et alimente ensuite à 50 kg : cm² un turbogroupe de 25 000 kw.

La description s'étend aux accessoires du générateur Benson, à la sécurité, à l'alimentation en eau et en combustibles, au dépoussiérage, au cycle eau vapeur et enfin au réglage automatique.

6. Turbines a vapeur. — 1° *Répartition des charges sur les turboalternateurs à hautes pressions fonctionnant en parallèle*, par J. Berthelier et A. Vandeghen. — La docilité remarquable des groupes turboalternateurs sous les à-coups de la charge appliquée a permis de généraliser l'électrification et l'alimentation directe, par les usines génératrices, des engins essentiels de la grosse industrie : laminoirs, machines d'extraction, locomotives.

Par leur marche intermittente, ceux-ci soumettent les machines génératrices à d'incessantes variations de régime et l'on conçoit que la nécessité d'une intervention manuelle pour le réglage constituerait dans de tel cas une véritable sujétion. Cependant la répartition judicieuse des charges variables entre différents groupes couplés en parallèle influence notablement le rendement global d'exploitation et contribue à la sécurité de marche.

Dans les installations usuelles à pressions et puissances moyennes, le rôle de répartiteur de la charge peut être assuré correctement par les régulateurs de vitesse. Durant la marche en parallèle, chacun d'eux intervient en raison des écarts dans la fréquence commune à l'ensemble du réseau, pour déterminer le taux de charge individuelle du groupe qu'il contrôle, tandis que le synchronisme et l'égalité des tensions sont automatiquement maintenus par les échanges de courants synchronisants et réactifs. Les caractéristiques de puissance en fonction de la vitesse des régulateurs constituent donc l'élément fondamental de la répartition cherchée : leur choix doit se conformer au programme assigné à chaque unité génératrice, dont on connaît la courbe des rendements aux diverses allures.

Si nous désignons par Δf l'écart instantané de la fréquence sous une pointe de charge ΔP, une unité quelconque absorbera une fraction de la pointe définie par

$$\Delta p = \Delta f \frac{P_n}{f_o - f_n},$$

P_n étant la puissance nominale du groupe considéré, $f_o - f_n$ l'écart de fréquence correspondant à la course entière du vannage d'admission de la turbine.

On a pour l'ensemble des machines en parallèle

$$\Delta P = \Sigma \Delta p = \Delta f \Sigma \frac{P_n}{f_o - f_n}.$$

Pour une variation donnée de régime, on peut donc prédéterminer l'écart de fréquence Δf du réseau et ensuite la part de la pointe Δp pesant sur un groupe envisagé.

En agissant sur $\frac{P_n}{f_o - f_n}$ ou, plus précisément, sur $(f_o - f_n)$ on pourra obtenir telle répartition que l'étude des rendements comparés aura désignée comme étant la plus économique.

Ces notions, d'ailleurs élémentaires et introduites à titre de rappel, deviennent insuffisantes pour la conduite des installations modernes à hautes pressions ou de grandes puissances.

On est amené, dans celles-ci, à constituer des groupes plus complexes dont la mise en train et le réglage échappent aux règles de la pratique courante. L'asservissement réciproque des turbines, des alternateurs, voire des chaudières, nécessite de nouvelles méthodes notamment pour la répartition rationnelle des charges variables. A ce point de vue, il y a lieu d'examiner les divers cas suivants :

1° Adjonction d'un groupe d'amont fonctionnant en compound avec d'anciennes turbines à basse pression. Cette solution est susceptible actuellement d'une extension considérable. Elle présente deux variantes : *a*) Fonctionnement avec chaudières à haute pression seules, les chaudières à basse pression étant désaffectées ; *b*) fonctionnement en haute pression avec échappement d'amont dérivé sur les chaudières à basse pression ;

2° Groupes à turbines polycylindriques en une seule ligne d'arbres ;

3° Groupes à turbines polycylindriques en deux ou plusieurs lignes d'arbres.

Pour chacun de ces types distincts de machines, on peut obtenir, moyennant des dispositifs simples et d'une efficacité éprouvée, le même degré de sécurité et de souplesse que dans les installations anciennes à basse pression.

2° *Turbines à vapeur à très haute pression*, par Flatt. — C'est la question du rendement de ces turbines qui fait le principal objet de ce rapport. Pour diminuer les pertes il y a intérêt à adopter de faibles vitesses pour la vapeur, à pleine admission pour les grandes quantités de vapeur et à admission réduite pour les petites quantités. L'adoption de faibles valeurs pour la vitesse a, de plus, l'avantage de conduire à de petits diamètres des divers étages de la roue de la turbine d'où résultent des efforts sur le corps de la turbine parfaitement admissibles. Les roues de Curtis ne sont à recommander que pour de petites puissances ; lorsque les quantités de vapeur deviennent importantes, pour lesquelles les pertes par les presse-étoupe sont négligeables, il n'est pas indiqué de recourir à ce type de roues à cause de leur rendement relativement faible.

Le rapporteur recommande le corps en une seule pièce dans le sens axial, en acier fondu, pour les très hautes pressions, suivant la solution adoptée dans les turbines Escher Wyss de 100 et 180 atmosphères. Dans le cas de corps en deux pièces, dans le sens axial, les boulons doivent être en acier au chrome et nickel.

3° *La turbine à vapeur Oerlikon dans les tendances modernes*, par J. Karrer. — L'augmentation du rendement est obtenue dans cette turbine par une construction soignée et une légère augmentation du nombre d'étages. La partie à haute pression de la turbine est à injection par-

tielle, ce qui permet de prévoir les roues directrices en acier. L'aubage lui-même est en acier antirouille. Les diamètres des roues à haute pression sont choisis aussi petits que possible, de telle sorte que les conditions fondamentales nécessaires à une sécurité de marche absolue sont garanties, même pour de très hautes pressions et températures. Grâce à l'utilisation de soupapes pour charges partielles et grâce surtout au dispositif spécial des Ateliers de Construction Oerlikon pour la vapeur de surcharge, il est possible de maintenir la consommation spécifique de vapeur à peu près constante pour un grand nombre de charges différentes.

Les caractéristiques de la turbine à haute pression Oerlikon sont décrites à l'aide de quelques exemples d'installations. La puissance limite d'une turbine à vapeur est déterminée par le volume de vapeur au dernier étage.

Les Ateliers de Construction Oerlikon sont aujourd'hui en mesure de construire des groupes turboalternateurs à 3 000 t : mn pour des puissances allant jusqu'à 75 000 kw.

7. Autres moteurs thermiques. — 1° *Moteur Diesel à injection mécanique*, par Paul Dumanois. — Pour augmenter la puissance massique du moteur Diesel, il faut réduire le poids par tous les moyens possibles. On a donc été amené à chercher à se passer du compresseur qui est un organe encombrant; de là, la vogue de l'injection mécanique.

Il est nécessaire, d'autre part, que l'injection ainsi réalisée donne une pulvérisation au moins équivalente à celle produite par l'air comprimé. C'est en effet de cette pulvérisation que dépend, dans une certaine mesure, la rapidité de combustion.

Le problème qui se pose est un problème non pas de thermodynamique, mais un problème de chimie relatif aux modalités de transformation des hydrocarbures en présence de l'oxygène, pour donner finalement de l'anhydride carbonique et de l'eau.

Il semble que l'état final ne soit réalisé qu'après une série d'oxydations successives. D'après des expériences relatées par l'auteur, sur l'action de l'air sous pression sur les hydrocarbures, il se produit une oscillation du carburant, lorsqu'il y a un grand excès de combustible, pour une température comprise entre 200 et 220° C et le résultat de cette oxydation, qui a lieu avec dégagement de chaleur, produit la transformation d'une partie du combustible en produits gazeux : CO^2, H^2, CH^4, C^2H^4. Il semble bien que ce soient des phénomènes du même ordre qui se passent dans les moteurs à boule chaude, dits semi-Diesel. Il semble bien également que c'est à des phénomènes analogues que les moteurs à chambre de précombustion doivent l'avantage de pouvoir employer des produits de moins bonne qualité. Ce sont enfin des phénomènes du même ordre qui semblent être réalisés dans le procédé Chuliwsky qui transforme préalablement le « gas oil » en produit gazeux en le faisant réagir avec une petite quantité d'air, dans un creuset maintenu au rouge par la réaction même; les produits de la combustion servent à alimenter un moteur à explosion ordinaire.

C'est donc bien par l'étude systématique des phénomènes de combustion que l'on pourra arriver à résoudre d'une manière complète le problème de l'injection mécanique pour les moteurs à grande puissance massique.

2° *Evolution du gros moteur à gaz en Belgique*, par H. Lesueur. — L'auteur traite de l'évolution, en Belgique, du moteur à gaz de haut fourneau. Il décrit les perfectionnements successifs que la Société Cockerill a apportés au type de moteurs qu'elle a créé, et qui ont abouti à la réalisation des grosses uniés tandem jumelées actuelles de 10 000 ch et aux grosses souffleries de 2 400 m^3 : mn.

L'auteur situe la machine à gaz de haut fourneau aux points de vue thermique et économique et montre l'intérêt que cette machine offre pour la production de l'énergie.

3° *L'influence de la sursaturation sur le rendement thermique des installations à deux fluides utilisant de la vapeur de mercure et de la vapeur d'eau*, par W.-J. Kearton. — Des expériences effectuées par l'auteur sur l'écoulement de la vapeur de mercure à travers une tuyère ont mis en évidence une sursaturation, mais il n'était pas possible de déterminer la limite de sursaturation atteinte. Après des considérations théoriques sur la condensation de la vapeur de mercure et de la vapeur d'eau, l'auteur étudie le rendement d'installations à deux fluides dans trois cas particuliers : cas de la vapeur sèche et sursaturée; cas de la vapeur très surchauffée; cas d'utilisation de vapeur à une température plus modérée avec surchauffe supplémentaire.

L'auteur conclut en attirant l'attention sur la relation qu'il y a entre la chaleur fournie par les produits de combustion et la température de réception de la chaleur et il montre que le réchauffeur d'air est un organe essentiel de l'installation décrite.

8. Divers. — 1° *Etat actuel de la théorie élémentaire des turbomachines*, par Charles Hanocq. — Après avoir repris l'exposé synthétique de la théorie élémentaire et déterminé, en fonction du coefficient de vitesse ou du coefficient de débit, les courbes caractéristiques, l'auteur applique les équations trouvées à l'étude des pompes centrifuges, pour lesquelles des essais systématiques très nombreux lui ont fait connaître les courbes caractéristiques expérimentales. Il montre qu'en l'absence d'un distributeur à l'ouïe, il est nécessaire, pour faire coïncider les résultats théoriques avec les résultats expérimentaux, d'admettre une prérotation à l'ouïe.

Les courbes caractéristiques établies de manière à tenir compte de cette prérotation contiennent des coefficients de perte propres à la roue et au diffuseur; confrontant les résultats trouvés par une expérimentation systématique avec les courbes théoriques, l'auteur parvient à fixer les valeurs de ces coefficients en fonction du tracé et des dimensions. Il termine son exposé en montrant que l'on peut établir pour chaque type un coefficient caractéristique, du moment où l'on s'impose la condition du rendement maximum, conclusion qui conduit tout naturellement à une classification rationnelle des types.

2° *Etude du fonctionnement des turbomachines en mouvement varié*, par A. Vandeghen. — Depuis l'apparition des turbocompresseurs s'est affirmée la nécessité d'étudier les phénomènes du mouvement varié dans les turbomachines. Il est possible d'établir une équation générale entre la charge motrice, les résistances de toute nature du circuit parcouru par le fluide et la variation du débit dans le temps. Cette équation permet d'aborder l'étude des cas particuliers parmi lesquels il faut citer l'amorçage des pompes centrifuges, le passage d'un régime à l'autre, le pompage des turbocompresseurs.

3° *Transmission du mouvement par câble du système Johann Ovrebek*, par A.-R. Holm. — Dans ce système de transmission, chaque poulie est munie d'une ou plusieurs gorges; le câble, qui est sans fin et qui est maintenu rigide par un tendeur, passe dans ces gorges et repose dans chacune d'elles pendant 2,5 tours, par exemple. Les pertes d'énergie et le glissement sont faibles; la distance entre axes des poulies peut être très petite et le rapport de transformation, très grand.

4° *L'emploi des dynamomètres de torsion pour la détermination de la puissance des machines*, par F. Bouny. — Dans beaucoup de cas, on mesure l'angle de torsion de la tige élastique de transmission par un dispositif qui fournit la valeur de cet angle lorsque l'arbre passe par une position angulaire déterminée, toujours la même. Si le couple transmis est constant, la lecture, ainsi obtenue, conduit bien à l'évaluation du couple, et, par suite, de la puissance. Mais il se présente des difficultés lorsque le couple possède une perturbation périodique.

Lorsque la période de cette perturbation est celle du tour, ce qui se présente assez souvent, l'appareil exécute des vibrations forcées de torsion. Comme la période du mouvement vibratoire est celle du tour et qu'on observe toujours dans la même position, le mouvement vibratoire ne se remarque pas et l'on pourrait croire que le couple transmis est constant et possède la valeur qui correspond à l'angle de torsion observé.

Si la période de rotation de la machine est voisine d'une des périodes d'oscillation propre de torsion, l'angle de torsion indiqué peut avoir une valeur hors de proportion avec le couple moyen transmis; l'appareil fournit ainsi une mesure tout à fait erronée. Même avec une perturbation périodique très faible, on peut arriver à des oscillations de torsion de très grande amplitude, si l'amortissement est faible et si l'on est suffisamment près de la résonance. — R. L.

Essais d'anneaux de garde munis de fusibles (1).

1. Généralités. — L'auteur rapporte brièvement les résultats d'une série d'essais effectués avec ces dispositifs à une tension de 110 kv. Ceux-ci comportaient initialement l'assemblage ordinaire composé de l'anneau et des cornes d'amorçage, mais modifié par l'adjonction sous l'anneau de deux éléments d'isolateurs supplémentaires mis en court-circuit par un fusible à haute tension du type à tétrachlorure de carbone. Ils furent très efficaces et l'adoption des fusibles à expulsion favorisera considérablement leur développement.

2. Exécution des essais. — Les fusibles essayés, du type normalisé de la General electric Company, consistaient en un tube de fibre fermé à chaque extrémité par une virole métallique et contenant l'élément fusible. Celui-ci était constitué par une courte chaîne métallique connectée à un câble souple en cuivre maintenu tendu par un ressort. Suivant l'importance du courant de court-circuit, une extrémité du fusible ou les deux à la fois étaient expulsés. Dans le montage réalisé au cours de ces essais, l'anneau de garde fut placé en bas de la chaîne et deux fusibles furent disposés au sommet comme des cornes. La distance entre les extrémités inférieures des fusibles et l'anneau était de 37 pouces (94 cm). L'anneau, du type normalisé pour 110 kv, de la Locke Insulator Corporation, était un ovale d'acier de 24 et 40 pouces de longueurs d'axes (61 cm et 101,7 cm) et de 2,5 pouces × 0,25 pouces de section (6,25 cm × 0,625 cm). Le grand axe était disposé parallèlement à la direction de la ligne. La chaîne était constituée par onze éléments, de l'Ohio Brass Company.

3. Résultats des essais. — Dix essais furent exécutés dont les résultats principaux sont donnés dans le tableau I. Ils débutèrent avec un courant de 230 A environ et furent

(1) J.-E. Clem. *General electric Review*, juin 1930, t. XXXIII, p. 336-340, 1 500 mots, 5 figures, 1 tableau.

Tableau I. — *Résumé des résultats d'essais des systèmes d'amorçage munis de fusibles.*

Numéro de l'essai	Nombre de périodes de l'amorçage	Nombre de périodes nécessaires à la rupture	Courant coupé en valeur efficace : courant de la dernière demi-période (ampères)	Courant coupé en valeur efficace : courant total (ampères)	Courant prévu (ampères)
1		4	222	315	228
2		3	335	388	410
3		8 3/4		639	775
4		2 1/2	859	1 112	1 660
5	2 3/4	2 3/4	1 390	1 955	1 530
6	1 1/2	1 1/2	2 176	2 878	2 160
7	1 1/4	1 1/4	2 561	3 454	
8	1 1/4	1 1/4	2 741	4 002	2 970
9	1 3/4		(pas d'onde de courant sur l'oscillogramme)		3 700
10	1 1/4	1 1/4	3 452	5 120	3 880

poursuivis par paliers jusqu'à un courant (prévu) de 3880 A. Les courants prévus et mesurés étaient dans chaque cas assez concordants. Dans le tableau I, le courant total est donné, comme celui de la première demi-période, en valeur efficace, soit égal à la racine carrée de la somme des carrés des composantes, alternative et continue. Dans chaque cas, les fusibles explosèrent avant le fonctionnement des disjoncteurs. L'arc à la terre était amorcé par l'interposition d'un fil placé entre l'anneau et le fusible. — M. R.

L'application des résultats des recherches sur les surtensions à l'étude des réseaux de transmission (1).

1. Généralités. — On dit parfois qu'une chaîne d'isolateurs constitue, dans l'éventualité d'un amorçage d'arc, le meilleur des parafoudres. Une telle assertion est fausse du fait que les caractéristiques de tension d'une chaîne d'isolateurs dépendent de celles de l'onde de surtension, tandis qu'un parafoudre bien réglé possède une tension de fonctionnement bien définie, indépendante de la nature de l'onde de surtension. D'autre part, les essais de laboratoire ont prouvé que l'isolation d'un transformateur ne subit aucune détérioration, même pour des surtensions indéfiniment répétées tant que la valeur maximum de la tension de l'onde de surtension ne dépasse pas deux fois et demie celle de la tension nominale à la fréquence de 60 p : s pour laquelle est établie l'isolation. Le meilleur parafoudre sera donc celui qui limite à cette valeur la tension maximum d'une onde de surtension. Il n'y a pas intérêt à la ramener à zéro, car il peut alors se produire des effets de réflexion mettant en jeu toute l'énergie de la surtension et par suite aussi nuisibles que la surtension elle-même.

Actuellement, les parafoudres du type » autovalve » sont ceux qui tendent à répondre le mieux à ces conditions, car ils abaissent la valeur maximum de la surtension à trois fois ou trois fois et demie au plus la valeur de la tension entre ligne et terre pour laquelle ils sont établis. Ils sont d'ailleurs susceptibles de perfectionnements qui amèneraient ce rapport à deux fois et demie la valeur indiquée ci-dessus.

2. Répartition rationnelle de l'isolement des lignes et des sous-stations. — Les travaux d'entretien et de réparation

(1) C.-L. Fortescue. *The electric Journal*, mai 1930, t. XXVII, p. 293-299, 3 000 mots, 10 figures.

rendant impossible le maintien constant en service des parafoudres, une répartition rationnelle de l'isolement des lignes et des sous-stations est nécessaire pour assurer une protection suffisante en l'absence des parafoudres. A ce point de vue, il faut prévoir les différents isolateurs pour une tension d'amorçage à 60 p : s telle que l'arc se produise plutôt sur la ligne que dans la sous-station. En se basant sur les résultats expérimentaux obtenus avec le générateur de surtension du laboratoire de Trafford, dont l'onde a très sensiblement la même forme que celle observée lors des coups de foudre les plus redoutables, on conclut, par exemple, que les isolateurs du type rigide, très usités dans l'équipement des sous-stations, doivent posséder, pour répondre à la condition précitée, une tension d'éclatement à 60 p : s de 5 pour 100 supérieure à celle prévue pour les chaînes d'isolateurs des lignes. Si ces dernières sont munies d'anneaux de garde, la différence entre les tensions d'éclatement pour les deux types d'isolateurs doit être portée à 33,5 pour 100.

Les éclateurs, qui pourraient être prévus avec les parafoudres, doivent être réglés pour fonctionner à une tension supérieure à celle de fonctionnement des parafoudres et inférieure à celle pour laquelle se produirait un amorçage d'arc à travers l'isolation des appareils de la sous-station.

3. Protection fournie par les fils de terre aériens. — La théorie classique du fil de terre est basée seulement sur la surtension induite et suppose que ce fil est maintenu au potentiel de terre après la mise en liberté de la charge afférente à la surtension induite. D'après cette théorie, le degré de protection qu'assurent ces fils peut être calculé connaissant leur nombre, leur disposition géométrique par rapport à la ligne de transmission et leur diamètre. Une théorie plus rigoureuse tient compte de la propagation de l'onde de surtension, que celle-ci soit induite ou appliquée directement au fil de terre. Elle fait intervenir la résistance de la prise de terre et la durée de parcours de l'onde entre le point où la surtension est appliquée à la ligne et le pylône le plus voisin. Ainsi que l'auteur l'expose en détail, il est essentiel pour la protection contre les surtensions appliquées directement que cette résistance de la prise de terre soit aussi faible que possible, comme le confirment des observations effectuées en pratique sur des lignes de transmission d'énergie. D'autre part, un inconvénient du fil de terre est de réduire la valeur de la surtension due à un coup de foudre non seulement sur la ligne elle-même, mais aussi aux sous-stations. Quand les lignes sont établies sur poteaux en bois, le fil de terre doit être, ainsi que les connexions au sol, bien isolé des poteaux pour que ceux-ci gardent intégralement toute leur valeur au point de vue isolement. Pour diminuer les risques d'arrêt de service dans les grandes usines génératrices ou sous-stations importantes, il y a parfois intérêt à accroître le nombre des fils de terre au voisinage de ces installations. Ces dispositions sont applicables aux sections de ligne très exposées aux orages et s'il n'y a pas de difficulté pour établir des prises de terre peu résistantes, sinon il peut n'être plus avantageux au point de vue économique de renforcer l'isolement de la ligne.

Les poteaux en bois augmentent l'isolement, mais l'importance de cette augmentation est encore mal déterminée. Il faut d'ailleurs considérer la valeur d'isolement des poteaux à l'état humide et n'en pas tenir compte au point de vue de l'isolation normale de la ligne pour la fréquence du courant de service. Il faut d'ailleurs prévoir les isolateurs de telle sorte que, lors d'un amorçage, la chute de tension à travers le bois soit réduite à une valeur telle que la carbonisation du bois ne puisse se produire.

4. Anneaux de garde. — Les anneaux de garde des chaînes d'isolateurs ont une très grande importance : ils empêchent l'arc de passer en cascade le long de la chaîne d'isolateurs ; de plus, ils évitent la rupture de ces derniers et, par suite, des arrêts de service de longue durée. Les travaux de Torok ont montré que l'action de ces anneaux est d'autant plus efficace que leur diamètre et leur section sont plus grands. Toutefois, en pratique, des anneaux de 0,90 m de diamètre sont suffisants pour une tension normale de service de 110 000 v et plus. Il faut toutefois bien remarquer que ces anneaux n'ont d'autre action que celle indiquée et ne réduisent pas le nombre d'éclatements d'arc ; ils tendraient même plutôt à l'augmenter légèrement.

On a essayé récemment une combinaison d'anneaux de garde et de fusibles. Mais les expériences faites jusqu'ici ne permettent pas encore, selon l'auteur, de se prononcer sur ce dispositif, dont le fonctionnement dépend beaucoup de celui du fusible à haute tension la mise au point de ce dernier n'étant pas encore satisfaisante.

Enfin, les perfectionnements apportés à un nouveau type de parafoudre léger susceptible d'être installé sur les pylônes et branché en parallèle avec les chaînes d'isolateurs permettra d'apporter une solution intéressante au problème de la répartition rationnelle de l'isolement des lignes de transmission. — J. S.

Mesure des pertes dans le fer dans les transformateurs triphasés à trois noyaux (1).

1. Généralités. — Lorsqu'on mesure avec trois wattmètres les pertes dans le fer d'un transformateur triphasé dont les trois noyaux sont dans un même plan, on constate que les lectures sur la phase correspondant au noyau central donnent des valeurs de la puissance intermédiaires entre celles relevées sur les phases des noyaux extrêmes. Dans le présent article, l'auteur se propose d'élucider les causes de cette anomalie.

2. Cas d'un transformateur symétrique. — Le transformateur est supposé pourvu d'un enroulement primaire en étoile alimenté en courant triphasé parfaitement équilibré, en sorte que les extrémités des vecteurs représentant la tension de chaque phase du transformateur sont les sommets d'un triangle équilatéral représenté en ABC sur la figure 1 et en traits ponctués sur la figure 2. Ces tensions AN, BN et CN produisent des flux qui leur sont proportionnels en grandeur, mais déphasés de 90° en arrière, en sorte que le diagramme vectoriel des flux est semblable à celui des tensions (triangle équilatéral ABC en traits pleins de la figure 2). En raison des liaisons entre les circuits magnétiques des trois phases, le flux dans la branche médiane B est, à chaque instant, la somme des flux dans les branches A et C, ce qui revient à dire que la résultante des deux vecteurs AN et CN doit être égale et de sens opposé au vecteur BN. Il est facile de se rendre compte que cette condition conduit, d'une part, à l'égalité vectorielle AN = CN et, d'autre part, à ce que le point N doit être le centre du triangle équilatéral ABC. Il faut remarquer que l'égalité entre les flux ou les tensions des trois phases résultant de ce qui précède n'est en rien modifiée par une dyssymétrie magnétique entre les phases tant que leurs circuits magnétiques ne sont pas séparés.

(1) R.-M.-W. Grant. *World Power*, juin 1930, t. XIII, p. 552-560, 2 000 mots, 6 figures.

Dans le cas envisagé les phases A et C sont en pratique identiques au point de vue magnétique et nécessitent des courants magnétisants égaux. On supposera donc, dans la suite, ces deux phases identiques. Etudiant alors la distribution des courants, on trouve que, si une connexion est établie entre la ligne et le point neutre du transformateur, elle

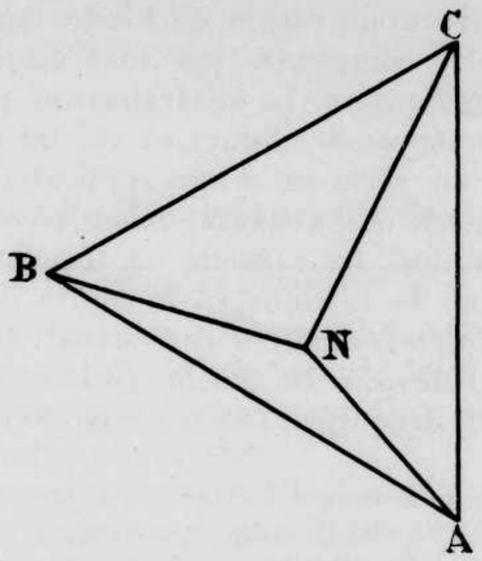


Fig. 1. — Diagramme vectoriel des tensions.

est traversée par un courant I_N qui est en phase avec celui de la phase B et égal en grandeur à $I_A - I_B = I_C - I_B$ par suite de l'identité des phases A et C. Examinant ensuite le cas où il n'existe pas de connexion entre le point neutre du transformateur et la ligne, et considérant alors les composantes magnétisantes des courants dans chaque phase, on arrive toujours, en utilisant les diagrammes vectoriels, aux résultats suivants : le courant magnétisant dans la phase B reste le même en grandeur et en phase, tandis que les courants magnétisants dans les deux autres phases augmentent tous deux en grandeur tout en restant égaux entre

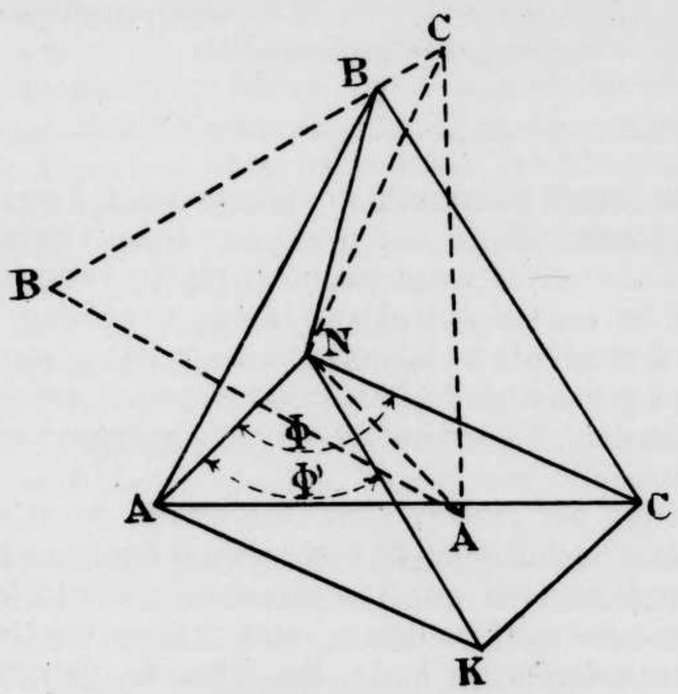


Fig. 2. — Diagramme vectoriel des flux.
(Les vecteurs de tension sont représentés en pointillé).

eux. Dans la phase A, le courant magnétisant est en retard sur la tension d'un angle $90° + \Phi_A$ et, dans la phase C, ce retard est de $90° - \Phi_C$ avec $\Phi_A = \Phi_C$. Donc dans la première phase est introduite une quantité négative d'énergie égale à $VI_A \operatorname{tang} \Phi_A$ et dans la dernière phase, une quantité positive égale à $VI_C \operatorname{tang} \Phi_C = VI_A \operatorname{tang} \Phi_A$. La quantité totale d'énergie ainsi mise en jeu est nulle et la lecture du wattmètre dans la phase B donne une valeur exacte.

Remarquons que dans le cas d'un enroulement primaire connecté en triangle, il faudrait sortir les deux extrémités de chaque enroulement pour pouvoir effectuer les mesures avec trois wattmètres. Dans ce cas les trois lectures donneraient la valeur vraie.

3. Discussion analytique du cas général. — Dans ce qui précède on a supposé, comme il en est le plus souvent ainsi en pratique, que les deux noyaux extérieurs du transformateur sont identiques au point de vue magnétique. On peut très bien étudier, sans plus de difficultés, le cas général où la réluctance des trois phases est inégale. Il faut alors tenir compte des angles Φ et Φ' indiqués sur la figure 1 et il suffit d'exprimer au moyen de relations trigonométriques d'abord que la résultante des vecteurs AN et CN est un vecteur égal en grandeur, mais de signe opposé à BN, ensuite que le triangle ABC est équilatéral. On arrive ainsi à montrer que, si un transformateur triphasé branché en étoile est alimenté en courant triphasé équilibré, les flux dans les trois noyaux sont égaux et déphasés de 120°, quelles que soient les réluctances des circuits magnétiques, tant qu'ils ne sont pas indépendants l'un de l'autre. De plus, l'expression du courant dans chaque phase s'obtient en écrivant, d'une part, que la résultante des trois courants est nulle et, d'autre part, qu'aucune puissance n'est mise en jeu pour aimanter le noyau. — J. S.

La ventilation des sous-stations (1).

1. Généralités. — La circulation de l'air nécessaire au refroidissement des machines des sous-stations s'obtient ordinairement en utilisant le tirage résultant de la différence entre la température de l'air chaud à l'intérieur du bâtiment et celle de l'air extérieur ; d'où la nécessité, pour que l'action de ce tirage soit suffisante, soit de prévoir dans le bâtiment des ouvertures de grande section, soit encore d'admettre une température assez élevée de l'air à l'intérieur de ce dernier. Ces deux solutions offrent des inconvénients et il est possible d'obtenir une meilleure ventilation en munissant les machines tournantes d'enveloppes en tôle de formes convenables dans lesquelles le rotor de ces machines agit comme ventilateur et qui permettent de rejeter l'air chaud au dehors par des conduites appropriées, ou encore de l'envoyer à des réfrigérants. La disposition de ces enveloppes varie avec le type de machines ainsi que le montre l'étude de chaque cas.

2. Cas des commutatrices et des machines a courant continu. — Considérant d'abord, ainsi que le fait l'auteur, le cas d'une de ces machines, sans aucun dispositif spécial, et étudiant les mouvements de l'air produits par le seul mouvement du rotor on constate, entre autres, qu'une partie de cet air suit un circuit fermé. Quant à l'air qui est appelé de l'extérieur dans la machine, il ne peut venir que de la salle où elle se trouve et est par suite déjà échauffé. Il faut remarquer d'ailleurs qu'un effet analogue se produit autour des ailettes d'un ventilateur disposé à l'air libre. Mais il n'en est plus du tout de même si ce ventilateur est enfermé dans une chambre en forme de spirale reliée à des conduits d'évacuation à l'extérieur, auquel cas la totalité de l'air aspiré par le ventilateur est refoulée extérieurement. Si donc on adopte une telle disposition en enfermant de même le rotor des machines électriques dans une chambre en spirale, on évite l'échauffement de l'air de la salle. Il se produit donc une aspiration d'air frais soit par les ventilateurs soit par l'effet de ventilateur produit par le rotor et, par conséquent, une amélioration dans le refroidissement même des machines.

(1) G. Sohlberg. *General electric Review*, février 1930, t. xxxiii, p. 104-111, 2 500 mots, 14 figures.

On a parfois adopté une disposition dans laquelle la machine était entièrement enfermée dans une chambre munie d'une ouverture de sortie d'air placée à l'opposé de celle d'arrivée et en prévoyant, de plus, un ventilateur extérieur. Au point de vue du mouvement de l'air, une telle disposition revient à avoir deux ventilateurs en série et qui travaillent partiellement en opposition, celui constitué par le rotor de la machine ayant une de ses faces qui fonctionne dans le refoulement du ventilateur extérieur. Il en résulte que celui-ci doit être prévu pour vaincre non seulement la résistance au refoulement des conduits de ventilation, mais aussi la résistance supplémentaire inhérente au même effet créé par le rotor. Il est d'ailleurs possible d'améliorer ce dispositif en le combinant avec celui où le rotor est muni d'une chambre en spirale et en dirigeant l'air refoulé par le ventilateur extérieur de chaque côté de cette spirale vers les orifices d'aspiration du rotor fonctionnant en ventilateur.

Mais le dispositif simple n'utilisant que l'effet de ventilation du rotor seul est suffisamment efficace dans la plupart des cas. L'adjonction d'un ventilateur extérieur ne devient nécessaire que si le circuit de ventilation comporte des filtres d'air, des conduits de grande longueur avec coudes ou autres dispositions introduisant des résistances supplémentaires. Ces ventilateurs peuvent être utilisés soit pour maintenir une légère pression à l'intérieur du bâtiment, soit pour refouler l'air à l'extérieur. Ces dispositions dépendent des conditions locales. Lorsque l'installation comporte un dispositif de réfrigération d'air, il devra être placé sur le refoulement de la machine, l'air refroidi étant ensuite renvoyé dans la salle.

3. Cas des machines a courant alternatif. — En général dans les machines à courant alternatif, l'air chaud est refoulé par des canaux de ventilation radiaux ménagés à travers les tôles du stator dans l'espace annulaire situé entre le fond de ces tôles et la carcasse, d'où il s'échappe soit directement dans la salle des machines, soit à l'extérieur si on a prévu des conduits appropriés. Dans le premier cas il en résulte une élévation parfois gênante de la température de l'air de la salle, ce qui entraîne d'ailleurs une élévation anormale de la température des diverses machines électriques qui y sont installées. Dans le second cas, il faut prévoir sur ces conduits la possibilité d'utiliser l'air chaud venant des machines pour maintenir à une température convenable durant la saison froide l'air de la salle des machines.

4. Ventilation générale. — Lorsqu'on ne compte que sur l'effet de tirage naturel pour assurer le renouvellement de l'air dans une sous-station il faut tabler sur 4 m^3 à 5,6 m^3 d'air par minute pour une puissance perdue de 1 kw. En supposant un tirage correspondant à une hauteur de colonne d'air chaud d'environ 10 m et un rendement de 50 pour 100, on arrive à une section de 500 à 760 cm^2 pour une puissance perdue de 1 kw pour les orifices de passage de l'air. Si on a prévu un dispositif de refoulement d'air chaud à l'extérieur, on peut admettre une température plus élevée de cet air et une vitesse plus grande du courant d'air, en sorte qu'on arrive à des sections de 75 à 100 cm^2 pour une puissance perdue de 1 kw.

Quelques plans, que l'on trouve dans l'article qui nous occupe, montrent les dipositions générales qui peuvent être suivies pour assurer la ventilation de sous-stations dans divers cas, avec ou sans dispositifs spéciaux de réfrigération d'air. — J. S.

L'effet des capacités en série sur la stabilité des systèmes de transmission d'énergie (1).

1. Introduction. — La puissance maximum qu'une ligne donnée est capable de transmettre dépend principalement de trois facteurs : sa tension, sa longueur et la fréquence des courants qui l'alimentent. La longueur de la ligne, intervenant surtout en raison de l'inductance qu'elle introduit pourra être compensée par tout dispositif tendant à diminuer cette dernière. La neutralisation partielle ou complète des inductances des lignes et des transformateurs par des capacités en série est d'une application commode aux systèmes projetés ou existants, mais nécessite un équipement de protection. La capacité en série supporte en effet tout le courant de la ligne et la chute de tension à ses bornes est proportionnelle à ce courant. En cas de court-circuit sur le réseau, cette tension peut devenir dangereuse pour l'appareil. L'équipement de protection agit en mettant

Tableau I. — *Comparaison d'un système de transmission d'énergie avec et sans capacités.*

	AVEC CAPACITÉS BRANCHÉES EN SÉRIE AVEC LA LIGNE	SANS CAPACITÉS
Puissance initiale transmise..	50 000 kw	50 000 kw
Puissance additionnelle disponible.....	63 000 kw	3 000 kw
Puissance totale transmise...	113 000 kw	53 000 kw
Puissance additionnelle rapportée à la puissance initiale	126 centièmes	6 centièmes
Tension au départ pour la puissance initiale.....	106,5 centièmes	100 centièmes
Tension au départ avec la puissance additionnelle...	96 centièmes	92 centièmes
Tension à l'arrivée pour la puissance initiale.....	100 centièmes	100 centièmss
Courant d'excitation du générateur.....	143 A	113 A

en court-circuit la capacité dès que la tension aux bornes de celle-ci atteint 150 ou 200 pour 100 de sa valeur normale. L'inductance de la ligne est ainsi réintroduite, limitant le courant de court-circuit. Dans le cas d'amorçage sur un ou plusieurs éléments de la capacité, un relais d'impédance est actionné par l'effet du déséquilibre qui en résulte dans la compensation et l'élément défectueux se trouve shunté.

2. Action des capacités en série sur la stabilité. — Les résultats d'exploitation de lignes ainsi équipées sont pleins de promesses, bien que les capacités n'aient été jusqu'ici installées que sur des lignes relativement courtes et à des tensions inférieures à 33 kv. Afin de déterminer leur action sur des lignes de grande longueur, une étude théorique a été poursuivie sur une ligne de 250 miles (400 km) à 110 000 v, pour deux systèmes : l'un avec condensateurs en série, l'autre avec compensateur synchrone. Dans le tableau I sont donnés les résultats de la comparaison des conditions de stabilité et les possibilités de surcharge de cette ligne avec et sans capacités. Dans ce dernier cas la ligne avait pratiquement atteint sa limite de puissance à 53 000 kw, alors qu'avec les capacités elle était capable de transmettre une puissance de 113 000 kw. — M. R.

(1) E.-J. Allen et J.-L. Cautwell. *General electric Review* mai 1930, t. xxxiii, p. 279-282, 2500 mots, 4 figures, 1 tableau.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Energie électrique du Sud-Ouest.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 23 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 88 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 5, avenue du Coq, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'exercice 1929 a été caractérisé, comme le précédent, par un régime de la Dordogne plus faible que la normale et, par suite, la production des usines hydrauliques de Tuilière et de Mauzac a été un peu inférieure à celle d'une année moyenne.

Les variations des recettes et des dépenses pour les deux derniers exercices se résument comme suit :

Les recettes d'exploitation de 1929 se sont élevées à 64 061 429,61 fr en augmentation de 10 866 568,51 fr sur celles de l'année précédente, qui étaient de 53 millions 194 861,10 fr (1).

Les dépenses d'exploitation se sont élevées à 34 millions 139 925,81 fr en augmentation de 7 524 349,11 fr sur celles de l'année précédente, qui étaient de 26 615 576,70 fr.

Le produit d'exploitation ressort à 29 921 503,80 fr; il était de 26 579 284,40 fr en 1928, ce qui représente une augmentation de 3 342 219,40 fr pour 1929.

Le capital à rémunérer en 1929 est de 66 millions de francs contre 60 millions de francs en 1928, du fait des 60 000 actions V créées en 1928 avec jouissance du 1er janvier 1929. Malgré cette augmentation du capital, les résultats de l'exercice 1929 permettent l'attribution d'un dividende de 14 pour 100 aux actions de priorité et ordinaires anciennes, contre 13 pour 100 en 1928 et d'un dividende de 8 pour 100 aux actions V anciennes.

Les chiffres ci-après donnent un aperçu de l'importance des réseaux de distribution de la société : longueur des artères à 60 000 et 50 000 v, 539 km; longueur des lignes à 13 000 v, 1 290 km; longueur des réseaux secondaires de distribution à basse tension, 1 267 km; longueur totale, 3 096 km.

Le développement de la clientèle a été poursuivi très activement. De nombreuses lignes de distribution à haute et à basse tension ont été construites, notamment pour l'électrification des campagnes. Le cinquième groupe de 3 000 ch de l'usine de Mauzac a été mis en service, selon les prévisions, au début du mois de décembre 1929 et fonctionne depuis lors de façon satisfaisante.

Le décret de concession de l'usine de Tuilière, en date du 4 juillet 1929, a été publié au « Journal officiel » du 10 juillet 1929. Cette usine avait été construite sous le régime de la simple autorisation par décret du 7 décembre 1910 et sa mise sous le régime de la concession a été imposée au moment de l'octroi de la concession des chutes de Mauzac et de Lalinde.

En vertu des autorisations données dans l'assemblée générale extraordinaire du 25 juin 1928, dont les résolutions ont été ratifiées par les assemblées spéciales du 30 juillet suivant, le conseil d'administration a décidé, dans sa séance du 8 novembre 1929, de procéder à l'émission de 40 000 actions ordinaires au nominal de 500 fr chacune et de 20 000 actions V au nominal de 100 fr chacune, représentant ensemble une augmentation de capital de 22 millions de francs, lesquelles actions nouvelles font partie des 80 000 actions ordinaires et des 40 000 actions V dont la création a été autorisée par l'assemblée précitée.

La souscription ouverte le 27 novembre 1929 a été close le 21 décembre 1929 et l'assemblée générale extraordinaire du 21 février 1930 a rendu définitive l'augmentation du capital de 66 à 88 millions de francs.

Il entre dans les intentions du conseil d'administration d'appeler au remboursement anticipé les diverses obligations 6 pour 100 et 6,50 pour 100 en circulation et d'effectuer ce remboursement en une seule opération au moyen des sommes à provenir de nouvelles obligations qui seraient créées à un taux d'intérêt moindre. La marge d'émission que détient actuellement le conseil d'administration n'étant pas suffisante pour effectuer l'opération en une seule fois, l'assemblée a été amenée à l'autoriser à procéder à la création et à l'émission d'obligations nouvelles jusqu'à concurrence d'un montant nominal total de 120 millions de francs, étant stipulé que cette autorisation prendra fin à l'assemblée générale ordinaire qui statuera sur les comptes de l'exercice en cours.

Il y a lieu de signaler l'augmentation du poste dépenses d'installations qui est de 7 163 557,50 fr, le total de ce poste étant passé de 192 309 765,82 fr au 31 décembre 1928 à 199 473 323,32 fr au 31 décembre 1929. Cette augmentation représente le montant des dépenses portées en compte au 31 décembre 1929, notamment pour les extensions des usines de Mauzac et de Floirac, pour la construction de nouveaux postes de transformation et de nouvelles distributions. Ces dépenses comprennent les charges d'intérêts et de frais généraux qui s'y rapportent.

Le régime de la Dordogne ayant été un peu inférieur à la moyenne, le conseil a prélevé une somme de 300 000 fr sur la réserve pour régularisation des frais de marche à vapeur et grosses réparations, pour la porter en diminution des frais de production thermique de l'exercice. Par suite de ce prélèvement, le montant de la réserve pour régularisation des frais de marche à vapeur est ramené de 10 250 000 fr à 9 950 000 fr.

Le conseil a estimé utile d'effectuer avant bilan par le compte de profits et pertes de l'exercice un versement de 3 250 000 fr à la réserve générale d'amortissement, dont le montant est ainsi porté à 21 millions de francs.

D'autre part, le conseil a également jugé utile de créer une nouvelle réserve intitulée provision pour dépenses exceptionnelles et de la doter, avant bilan, d'une somme de 8 millions de francs.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 6 juillet 1929, t. XXVI, p. 33.

En récapitulant les résultats, l'exercice 1929 se présente comme suit : recettes d'exploitation, 64 061 429,61 fr; dépenses d'exploitation, 34 139 925,81 fr.

Le produit d'exploitation est donc de 29 921 503,80 fr.

A ce produit il faut ajouter le solde du compte intérêts et divers, 1 154 949,39 fr, ce qui donne un total de 31 millions 076 453,19 fr.

De ce total il faut déduire : les frais généraux d'administration, 196 200,10 fr; l'abonnement au timbre des actions, des obligations et des bons, 346 549,53 fr; l'intérêt et les impôts sur les obligations et les bons, 8 136 485,63 fr.

Il reste comme produit brut de l'exercice, 22 397 217,93 fr contre 19 307 274,29 fr.

Il en est déduit : pour amortissement sur mobilier et outillage, 230 205,65 fr; pour amortissement sur compteurs et matériel en location, 355 257 fr; pour le remboursement de 750 obligations, 375 000 fr; versement à la réserve générale d'amortissement, 3 250 000 fr; provision pour dépenses exceptionnelles, 8 000 000 fr.

Le bénéfice net de l'exercice ressort ainsi à 10 millions 186 755,28 fr.

En y ajoutant le report à nouveau de 1928, 578 605,60 fr, le solde disponible s'élève à 10 765 360,88 fr.

La répartition est effectuée comme suit : à la réserve légale, 5 pour 100 de 10 186 755,28 fr, soit 509 337,76 fr; dividende de 8 pour 100, soit 40 fr par titre, aux 60 000 actions de priorité, 2 400 000 fr; dividende de 6 pour 100, soit 30 fr par titre, aux 60 000 actions ordinaires anciennes, 1 800 000 fr; dividende de 6 pour 100, soit 6 fr par titre, aux 60 000 actions V anciennes, 360 000 fr; tantième statutaire, 506 275 fr; à la réserve extraordinaire, 294 044 fr; dividende supplémentaire de 2 pour 100, soit 10 fr par titre, aux 60 000 actions ordinaires anciennes, 600 000 fr; dividende supplémentaire de 0,5 pour 100, soit 0,50 fr par titre, aux 60 000 actions V anciennes, 30 000 fr; superdividende de 6 pour 100, soit 30 fr par titre, aux 60 000 actions de priorité et aux 60 000 actions ordinaires anciennes, 3 600 000 fr; superdividende de 1,50 pour 100, soit 1,50 fr par titre, aux 60 000 actions V anciennes, 90 000 fr; solde à reporter à nouveau, 575 704,12 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution	1 »
Dépenses d'installations	199 473 323,32
Compteurs et matériel en location,	2 193 200,62
Mobilier et outillage	1 »
Approvisionnements	12 303 618,36
Caisses et banquiers	10 042 125,93
Factures à encaisser	16 822 067,65
Débiteurs divers	3 227 757,29
Cautionnements et dépôts de garantie	158 803,65
Impôts sur titres à recouvrer	1 783 608,56
Portefeuille et participations	11 714 342,75
Comptes d'ordre et divers	2 373 708,72
	260 092 558,85

Passif.

	fr
Capital :	
60 000 actions de priorité de 500 fr	30 000 000 »
60 000 actions ordinaires de 500 fr	30 000 000 »
60 000 actions V de 100 fr	6 000 000 »
Obligations :	
5 pour 100 1909	11 906 400 »
6 pour 100 1916 (vertes)	7 310 250 »
6 pour 100 1917 (rouges)	14 753 300 »
6 pour 100 1919 (violettes)	18 833 750 »
6,5 pour 100 1922-1923	36 940 000 »
A reporter	155 743 700 »
Report	155 743 700 »
Bons 8 pour 100 1926	8 500 000 »
Réserve légale	2 776 689,44
Réserve par primes d'émission	911 125 »
Réserve extraordinaire	3 454 747 »
Réserve d'amortissement par remboursement d'obligations	2 916 300 »
Réserve générale d'amortissement	21 000 000 »
Réserve pour régularisation des frais de marche à vapeur et grosses réparations	9 950 000 »
Provision pour dépenses exceptionnelles	8 000 000 »
Subventions remboursables par annuités	4 595 037,38
Créditeurs divers	19 783 333,87
Fournisseurs et entrepreneurs	3 679 256,20
Cautionnements et avances sur consommation	2 257 987,25
Coupons à payer et obligations à rembourser	3 160 749,40
Comptes d'ordre et divers	2 598 272,43
Profits et pertes	10 765 360,88
	260 092 558,85

Société anonyme des Condensateurs de Trévoux.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 30 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 5 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 52, rue de Dunkerque, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'année qui vient de s'écouler a été marquée par un accroissement très sensible du chiffre d'affaires et on espère voir cette progression s'accentuer encore davantage au cours des prochains exercices, grâce aux moyens nouveaux mis à la disposition de la société, par l'augmentation de capital qu'elle vient de réaliser.

La société a pris toutes dispositions pour adapter ses fabrications aux progrès de la technique moderne, et en vue de mettre en application le programme qu'il s'était tracé, le conseil a décidé l'achat d'une nouvelle usine à Saint-Ouen et la transformation de l'usine de Trévoux, de façon à spécialiser les productions des divers ateliers, comme l'exigent les nécessités actuelles du marché.

Le bénéfice net, déduction faite des amortissements et des charges de l'exercice s'élève à 418 761,06 fr auxquels s'ajoute le report de l'an dernier, soit 126 726,31 fr (1).

La somme disponible, soit 545 487,37 fr, est répartie de la façon suivante : réserve légale, 5 pour 100 sur 418 761,06 fr, 20 938,05 fr; intérêt statutaire de 8 pour 100 aux actions, 160 000 fr; au conseil d'administration, 41 876,10 fr.

Après constitution d'une réserve extraordinaire de 200 000 fr et le report à nouveau de 69 339,89 fr, le surplus du bénéfice appartient à raison de : 75 pour 100 aux actionnaires, soit 40 000 fr; 25 pour 100 aux parts de fondateur, soit 13 333,33 fr.

Dans ces conditions les actions touchent brut 50 fr et les parts de fondateur 13,33 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Caisse, banques et comptes courants postaux	62 159,88
Effets à recevoir	313 823,18
Clients et comptes débiteurs	1 713 510,29
Impôts sur actions	26 867,25
Marchandises et produits finis	2 240 726,12
Travaux en cours	594 328,29
Terrains et constructions	328 938 35
Matériel et outillage	551 933,68
	5 832 287,04

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 3 août 1929, t. XXVI, p. 198.

Passif.

	fr
Capital actions	2 000 000 »
Réserve légale	78 168,74
Fournisseurs	1 192 834,64
Créditeurs divers	1 598 766,06
Engagements	417 030,23
Solde reporté de 1928	126 726,31
Bénéfice net de l'année 1929	418 761,06
	5 832 287,04

Société parisienne pour l'Industrie des Chemins de fer et des Tramways électriques.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 22 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 65 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

La société a, au cours de l'exercice 1929, gardé sa place aux premiers rangs des sociétés électriques dont l'activité ne se ralentit pas. Elle a resserré les liens qui l'unissent à ses filiales et elle espère retirer de l'effort accompli en commun une part croissante de bénéfices (1).

Parmi les industries annexes de la production d'énergie électrique, l'utilisation de la chaleur des usines génératrices au chauffage des immeubles se développe depuis quelques années. La Ville de Paris a accordé, le 10 décembre 1927, une concession pour la distribution de la chaleur par la vapeur et l'eau chaude.

La société dont nous nous occupons a pris une participation dans trois sociétés qui se partagent la tâche à accomplir à cet effet : la première, la Compagnie parisienne de Chauffage urbain, a pour objet l'exploitation de la concession de chauffage urbain accordée par la Ville de Paris ; la seconde, Chaleur-Energie, la production de la vapeur destinée à l'alimentation des réseaux de distribution du chauffage urbain ; la troisième, la Compagnie parisienne de Distribution de Chaleur, les installations des appareils de chauffage dans les immeubles.

Ces sociétés sont en périodes d'études et d'installations ; on peut espérer qu'elles obtiendront dans l'avenir des résultats intéressants.

Le développement des réseaux de distribution d'énergie électrique dans les communes et syndicats de communes se poursuit d'une façon continue et, soit dans le nord de la France, soit dans la Nièvre, soit dans la Loire-Inférieure, les chantiers sont en pleine activité. Le poste d'interconnexion à 60 000 v Conflans-Charenton, de la Société Electricité de la Seine, dont l'entreprise générale avait été confiée à la société dont nous nous occupons, a été mis en service avec succès ; le poste de Saint-Denis, de la Société d'Electricité de Paris est en cours de construction. En Algérie, la ligne Alger-Bouira pour la Société Lebon et Cie est en bonne voie d'achèvement.

Parmi les commandes reçues au cours de l'exercice écoulé, on peut signaler les suivantes : la Société Lorraine-Hainaut a passé marché pour la construction de la ligne à 150 000 v Mohon-Fourmies. En Algérie, la Compagnie d'Entreprises électromécaniques a rétrocédé à la société, d'accord avec les Chemins de Fer de l'Etat algérien, le marché pour l'installation des lignes caténaires sur la ligne de Bone à Tebessa, entre Duvivier et Oued-Kebrit.

D'importantes affaires sont en cours d'étude et de tractation.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 17 août 1929, t. XXVI, p. 263.

Le rapport donne ensuite un exposé sommaire de la situation des nombreuses entreprises dans lesquelles la société est intéressée : Société d'Electricité de Paris, Electricité de la Seine, Forges et Ateliers de Constructions électriques de Jeumont, Electricité et Gaz du Nord, Société nantaise d'Eclairage et de Force par l'Electricité, Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine, Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris, Tramways de Lille, Société d'Electricité de Lille et de sa Banlieue, Chemins de fer économiques du Nord, Compagnie générale des Chemins de fer vicinaux, Société auxiliaire industrielle et financière de la Compagnie des Chemins de fer du Congo supérieur aux grands Lacs africains, Compagnie des Chemins de fer du Congo supérieur aux grands Lacs africains, Compagnie minière des grands Lacs, The Cairo electric Railways and Heliopolis Oases Company.

L'examen des comptes de la Société parisienne pour l'Industrie des Chemins de fer et des Tramways électriques permet de faire les constatations suivantes :

Le crédit du compte de profits et pertes se compose : du report de l'exercice 1928, 61 865,01 fr ; des produits de l'exercice 1929, comprenant les revenus du portefeuille, les intérêts des disponibilités et des comptes courants, les bénéfices des divers travaux entrepris, 8 486 125,12 fr.

Au débit figurent : les frais généraux d'administration centrale, 763 212,97 fr ; les impôts divers, 1 088 349,52 fr.

Le bénéfice s'élève donc à 6 696 427,64 fr.

Il est réparti de la façon suivante : 5 pour 100 à la réserve légale, 331 728,13 fr ; dividende de 4 pour 100 au capital versé, 2 600 000 fr ; attribution au conseil d'administration, 240 997,05 fr ; deuxième dividende de 10 fr aux actions, 2 600 000 fr ; dividende de 34,666 fr aux parts bénéficiaires, 866 650 fr ; solde à reporter, 57 052,46 fr.

En conséquence, le dividende est fixé à 20 fr pour les actions, et à 34,666 fr pour les parts, sous déduction des impôts.

Ces dividendes sont mis en paiement à partir du 23 mai 1930.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Portefeuille-titres	52 574 822,56
Immeubles	3 336 500 »
Mobilier	1 »
Disponibilités	14 266 794,54
Comptes courants	2 741 238,15
Impôts à recouvrer	1 692 185,01
Débiteurs divers	18 467 387,42
Participations et entreprises en cours	12 364 253,95
Matériel et outillage	1 »
Approvisionnements	807 131,55
Compte d'ordre. Titres à libérer	15 353 114,80
Actions déposées par les administrateurs	300 000 »
	121 903 429,98

Passif.

	fr
Capital : 260 000 actions de 250 fr	65 000 000 »
Réserve légale	3 408 852,60
Provision pour créances sur affaires en Russie	1 990 018,03
Créditeurs divers	13 163 510,16
Acomptes sur entreprises en cours	15 727 318,06
Coupons restant à payer	264 188,69
Compte d'ordre. Versements à effectuer sur titres	15 353 114,80
Cautionnements des administrateurs	300 000 »
Profits et pertes : solde	6 696 427,64
	121 903 429,98

Société nantaise d'Eclairage et de Force par l'Electricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 22 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 60 millions de francs, et dont le siège social est à Paris, 54, rue La Boëtie, nous extrayons les renseignements qui suivent :

En 1929, la vente d'énergie a été en progression de 9,2 pour 100 par rapport à l'année précédente, bien que, d'une part, cet exercice n'ait pas bénéficié, comme le précédent, de la mise en service d'un nombre important de nouveaux réseaux de distribution régionale, et que, d'autre part, il se soit produit, vers la fin de l'année, dans l'activité industrielle générale, un léger ralentissement que nous constatons d'ailleurs encore à l'heure actuelle (1).

Les pourparlers qui ont été poursuivis avec la Municipalité de Nantes pour le rajustement équitable des tarifs ont enfin abouti à la révision du cahier des charges. Bien que les prix résultant de la nouvelle tarification de lumière soient encore sensiblement inférieurs à ceux pratiqués dans les villes similaires, la société a dû consentir des compensations assez onéreuses en s'engageant à développer, dans des conditions particulièrement favorables pour la Ville, les réseaux de certains quartiers périphériques ainsi que l'éclairage public.

La longueur des réseaux à haute et à basse tension desservis par la société et ses filiales s'est accrue, au cours de l'exercice, de 232 km atteignant ainsi un total de 2 792 km.

La société a continué de donner son entier concours aux pouvoirs publics pour le développement de l'électrification rurale, et des accords ont été passés à cet effet avec deux nouveaux syndicats intercommunaux, ceux de Loroux-Bottereau, en Loire-Inférieure, et de Palluau-Poiré, en Vendée. D'autre part, des pourparlers se poursuivent avec le Syndicat intercommunal du Maine-et-Loire pour une troisième tranche d'électrification d'écarts.

La filiale Le Nord vendéen électrique a décidé la construction d'une ligne à 30 000 v de Machecoul à Challans, afin d'assurer l'alimentation en énergie électrique de la région nord-ouest du département de la Vendée.

Au cours de l'exercice écoulé, le nouveau groupe turboalternateur de 10 000 kw, dont il avait été question l'an dernier, a été mis en service dans des conditions satisfaisantes. Ce groupe sera complété par l'adjonction d'un corps à haute pression, et la capacité de production de vapeur de l'usine génératrice sera augmentée par l'installation de deux chaudières, timbrées à 38 kg : cm² et munies des derniers perfectionnements. Cet ensemble entrera en service dès la fin de la présente année et constituera une première et importante étape dans l'extension future de l'usine génératrice.

Les travaux d'interconnexion du réseau de la société avec ceux de deux sociétés voisines, au moyen des lignes de la Société de Transport d'Energie de l'Ouest, ont été poussés avec activité et les premiers échanges d'énergie pourront vraisemblablement avoir lieu dès la fin du premier semestre de l'année en cours.

Dans le même ordre d'idées, la société a pris un intérêt dans la Société de Transport d'Energie Centre-Ouest récemment créée.

La société a profité de l'abaissement du taux d'intérêt de l'argent à long terme pour émettre de nouvelles obligations 5,50 pour 100 d'un montant nominal de 20 millions de francs, amortissables en trente-trois ans à partir de 1932 et destinées d'abord au remboursement des bons 9 pour 100 et 7 pour 100, d'un montant total d'environ 14 millions de francs, émis en 1926 et 1927. Tous les bons 9 pour 100 ont été remboursés le 1er janvier 1930, et ceux des bons 4 pour 100 restant encore en circulation seront remboursés le 15 septembre prochain. Cette opération, sans augmenter les charges financières actuelles, s'est traduite par un renforcement intéressant de la trésorerie.

La progression des résultats industriels permet de porter le dividende de 9,50 à 10 pour 100, tout en affectant 7 millions de francs (contre 5 500 000 fr l'an dernier) au fonds d'amortissement et de renouvellement, et en allouant un million de francs (contre 500 000 fr) au fonds pour risques divers.

Les comptes de l'exercice se présentent de la façon suivante, après amortissement total des frais d'émission des nouvelles obligations 5,50 pour 100 :

Les produits bruts d'exploitation et divers s'élèvent à 18 137 820, 15 fr dont il y a lieu de déduire : frais généraux et d'administration, 824 205,95 fr; charges financières, 1 505 384,11 fr; allocation au fonds d'amortissement et de renouvellement, 7 000 000 fr; allocation au fonds pour risques divers, 1 000 000 fr.

Le solde disponible s'élève à 7 808 230,09 fr. Il y a lieu d'en déduire : prélèvement de 5 pour 100 pour la réserve légale, 390 411,50 fr; intérêt statutaire de 7 pour 100 aux actions de priorité, 3 150 000 fr; intérêt statutaire de 7 pour 100 aux actions ordinaires, 1 050 000 fr; attribution statutaire au conseil, 209 158,20 fr.

Il reste une somme de 3 008 660,39 fr à laquelle il convient d'ajouter le report à nouveau de l'exercice précédent, soit 486 920,54 fr, ce qui donne un total de 3 495 580,93 fr. Sur cette somme, il est prélevé : dividende de 3 pour 100 aux actions de priorité, 1 350 000 fr; dividende de 3 pour 100 aux actions ordinaires, 450 000 fr; dividende de 30 fr aux parts bénéficiaires, 1 200 000 fr.

Le solde, soit 495 580,93 fr, est reporté à nouveau.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Terrains et immeubles	3 656 910 »
Usine de Chantenay	31 329 090 »
Lignes, postes, réseaux, compteurs	89 042 521 »
Mobilier et outillage	325 001 »
Approvisionnements	6 013 843,29
Portefeuille	10 280 826,65
Débiteurs divers	21 963 996,43
Disponibilités	21 963 673,19
Frais d'augmentation de capital moins amortissements	1 »
Frais d'émission des bons moins amortissements	1 »
Frais d'émission des obligations moins amortissements	1 »
	184 575 864,56

Passif.

	fr
Capital : 60 000 actions ordinaires de 250 fr, 180 000 actions de priorité de 250 fr, 40 000 parts bénéficiaires (mémoire)	60 000 000 »
Réserve légale	2 175 812,23
Fonds d'amortissements et de renouvellement	60 679 019,07
Fonds pour risques divers	2 000 000 »
Bons 1926 : 11 673 bons de 500 fr	5 836 500 »
Bons 1927 : 6 041 bons de 500 fr	3 020 500 »
Obligations 1929 : 20 000 obligations de 1 000 fr.	20 000 000 »
Créditeurs divers, provisions et comptes d'attente	22 294 204,04
Coupons restant à payer	274 768,59
Reliquat de l'exercice précédent	486 920,54
Bénéfice net de l'exercice	7 808 230,09
	184 575 864,56

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 17 août 1929, t. XXVI, p. 264.

SECTION DE LÉGISLATION

L'obligation de fournir du courant et la capacité de production de l'usine du concessionnaire

(Arrêts du 21 mai 1930 et du 26 mai 1930)

Le rapprochement des deux arrêts que l'on va lire peut présenter dans la pratique un véritable intérêt pour la détermination des obligations réciproques de l'autorité concédante et du concessionnaire.

I. **Observations générales.** — Le Conseil d'Etat, à cinq jours d'intervalle, a rendu deux arrêts qui exonèrent le concessionnaire de l'obligation de fournir du courant dans le périmètre de la commune concédante, alors que la municipalité prétendait exiger cette fourniture, même au delà de la puissance de l'usine. Si ces décisions étaient mal comprises, elles pourraient faire croire, contre toute vérité, que la simple indication, dans le cahier des charges, d'une source d'énergie électrique appartenant au distributeur suffit pour limiter sa responsabilité en cas d'insuffisance, alors que, bien au contraire, cette limitation ne peut résulter que d'une stipulation catégorique que le Conseil d'Etat a trouvée dans deux cahiers antérieurs au cahier type.

II. **Exposé de la première affaire.** — Dans la première affaire, celle du 21 mai 1930, la commune de Revel prétendait que, si le cahier des charges du 27 novembre 1905 avait désigné, comme source de production l'usine génératrice de Malamort, appartenant à la Société d'Exploitation des Forces motrices de la Montagne noire, concessionnaire, c'était simplement pour dispenser cette dernière de construire une usine dans la commune desservie, mais que cette circonstance ne dispensait pas la société de maintenir toujours sa production à la mesure des besoins à satisfaire, tant en éclairage qu'en force motrice, puisque dans l'article 4 du contrat on avait imposé l'installation d'un moteur thermique de secours; qu'enfin, la société distributrice avait compris dans ce sens son propre contrat, parce qu'elle avait fait valoir en 1920 et en 1924, pour obtenir des relèvements de tarifs, l'obligation d'accroître ses moyens de production.

A ces arguments, impressionnants au premier abord, la société concessionnaire répondait que, le contrat démontrait péremptoirement par lui-même que dans l'intention des parties, l'usine de Malamort était seule considérée comme devant fournir la puissance nécessaire pour l'éclairage; que la force motrice ne faisait pas partie de la concession et n'était indiquée que comme moyen d'utiliser une énergie en excédent à cette usine, de même que des moteurs thermiques avaient été prévus pour parer à une défaillance momentanée de l'usine hydraulique : mais les avenants auxquels la Ville faisait allusion n'avaient point prononcé la moindre obligation à l'accroissement de la puissance de l'usine considérée.

Le Conseil de Préfecture de la Haute-Garonne avait décidé que la société était tenue, sans limitation, de fournir le courant soit pour la lumière soit pour la force motrice à la demande de tous les habitants.

Le Conseil d'Etat, avec sa méthode très prudente, qui évite toute décision ayant l'apparence d'un principe absolu, a déclaré que la solution ne pouvait être donnée que par la lecture du cahier des charges en établissant une corrélation entre les divers articles. En ce sens, il a considéré que le rapprochement des prescriptions qui, d'une part, imposent à la société concessionnaire de fournir le courant à toute personne désirant contracter un abonnement d'un an et qui, d'autre part, stipulent que le courant sera produit par l'usine électrique de Malamort, démontre que la Société de la Montagne noire n'est pas tenue de se procurer, en dehors de son usine, du courant pour la production de la force motrice.

III. **Arrêt du 21 mai 1930.** — L'arrêt rendu sur le rapport de M. Séligman, les plaidoiries de Me Labbé, pour la Société d'Exploitation des Forces motrices de la Montagne noire, et Me Hannotin pour la Commune de Revel, sur les conclusions de Me Andrieux, commissaire du Gouvernement est ainsi libellé : « Considérant que les dispositions du cahier des charges aux termes desquelles le concessionnaire sera tenu de fournir l'énergie électrique à toute personne qui demandera à contracter un abonnement d'un an doivent être rapprochées de celles qui stipulent que le courant sera produit par l'usine électrique de Malamort; qu'il résulte de ces dispositions et de celles qui règlent les conditions de fourniture de la force, que la Société d'Exploitation des Forces motrices de la Montagne noire n'est pas tenue de se procurer, en dehors de son usine de Malamort, le courant pour la force motrice; que, par suite, la société est fondée à demander l'annulation de l'arrêté attaqué qui a déclaré qu'elle était tenue de fournir ce courant sans limitation pour desservir tous les habitants qui le

demandent. Par ces motifs : l'arrêté du Conseil de Préfecture de la Haute-Garonne, en date du 1er juillet 1926, est annulé ; il est déclaré que les obligations de la Société de la Montagne noire, en ce qui concerne la fourniture de la force motrice, sont limitées à la capacité de production de son usine de Malamort : les dépens de première instance et d'appel seront supportés par la Commune de Revel ».

IV. **Exposé de la seconde affaire.** — Dans l'affaire terminée par l'arrêt du 26 mai 1930, les faits, ou plus exactement certains détails de la procédure se présentaient d'une façon différente. Le Conseil de Préfecture de Constantine, le 28 mai 1926, avait jugé que le concessionnaire M. Viette était tenu de fournir tout le courant demandé par les habitants pour la lumière, qu'en conséquence il devrait apporter dans son usine tous les aménagements nécessaires à cette fin, en utilisant, pour ce faire, un délai de six mois imparti par le Conseil ; la sanction était la résiliation pure et simple du contrat, et une indemnité de 50 000 fr attribuée définitivement à la Ville.

Or s'il résultait du cahier des charges (article 24) que l'obligation de fournir le courant à tous les consommateurs était certaine, il était écrit à l'article 8, paragraphe 4, que le sieur Viette n'était pas tenu d'avoir pour la production de l'éclairage une puissance supérieure à 70 ch; de plus, il n'était pas parlé de l'extension de l'usine, au point de vue de la production d'énergie, mais il avait été stipulé, dans le même article 8, que le concessionnaire devait réaliser toutes les augmentations nécessaires dans la canalisation empruntant les voies publiques: le Conseil d'Etat, appliquant prématurément le principe qui est aujourd'hui formulé dans l'article 13 du cahier type, a décidé que la limitation de la puissance d'une usine permet à l'autorité concédante d'annuler pratiquement le privilège exclusif qu'elle a promis au concessionnaire, et d'appeler d'autres distributeurs dans son périmètre, mais ne l'habilite pas à réclamer la résiliation de la concession, après avoir donné une injonction formelle au concessionnaire, d'avoir à doter son usine dans un intervalle de temps, d'une puissance supérieure à celle qui a été initialement stipulée.

V. **Texte de l'arrêt du 26 mai 1930.** — L'arrêt du Conseil d'Etat se présente dans les termes suivants : « Ouï, M. Reinach, maître des Requêtes en son rapport, Me Hannotin, avocat du sieur Viette et Me Jaubert, avocat de la ville de Batna ; ouï M. Latournerie, commissaire du Gouvernement. Considérant qu'il résulte de l'ensemble des stipulations du cahier des charges et notamment de l'article 8, paragraphe 4, que le sieur Viette n'était pas tenu de s'assurer, pour la production de l'énergie électrique destinée à l'éclairage, une puissance supérieure à 70 ch ; que si, à raison du développement de la consommation et de la nécessité prévue à l'article 24 de distribuer l'éclairage à tous les particuliers sur le parcours de la canalisation, il appartenait à la Ville, en l'absence de toute disposition particulière du cahier des charges sur ce point, de demander au concessionnaire de réaliser dans des conditions normales, les aménagements que comporte la fourniture du courant de lumière à l'ensemble de la population, faute de quoi le concessionnaire ne pourrait plus se prévaloir à l'encontre de la Ville de son privilège, c'est à tort que le Conseil de Préfecture a lui-même imparti au concessionnaire un délai à l'expiration duquel, si ces aménagements n'étaient pas effectués, le contrat serait résilié, et une indemnité de 30 000 fr serait acquise à la Ville ; qu'il y a donc lieu d'annuler son arrêté et de mettre les dépens à la charge de la commune.

ARTICLE PREMIER. — L'arrêté du Conseil de Préfecture de Constantine, en date du 26 mai 1926, est annulé. Le sieur Viette est déchargé de la condamnation conditionnelle prononcée contre lui et la Ville de Batna supportera les dépens. »

Paul BOUGAULT,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Arrêt de la Cour de Cassation concernant le paiement de l'indemnité journalière attribuée pour accident du travail.

Il résulte de cet arrêt, en date du 14 mai 1930, que l'indemnité journalière due à un ouvrier pour accident du travail doit lui être allouée même pour les journées pendant lesquelles il reçoit de l'Etat, comme servant sous les drapeaux, des prestations appropriées à ses besoins.

Voici le texte de cet arrêt, rendu à la suite d'un pourvoi en cassation contre un jugement du juge de paix de Firminy, en date du 3 mai 1928.

La Cour,

Vu l'article 3, paragraphe 3, de la loi du 9 avril 1898 modifiée par la loi du 31 mars 1905 ;

Attendu que l'indemnité journalière que ce texte alloue à l'ouvrier atteint d'incapacité temporaire à la suite d'un accident du travail a un caractère forfaitaire et que la loi n'admet pas d'exception à l'obligation de payer cette indemnité ;

Attendu, dès lors, qu'en décidant le contraire par le double motif que Dufau, ouvrier métallurgiste, victime d'un accident du travail au service de la Société des Aciéries et Forges de Firminy, avait, au cours de la période pendant laquelle l'indemnité journalière lui était due (4 mai-28 juillet 1926), reçu de l'Etat, pendant la durée de son service militaire (14 mai-10 juin 1926), des prestations appropriées à la satisfaction de ses besoins, et, d'autre part, que l'objet déterminé du demi-salaire est de pourvoir aux besoins immédiats de la victime, préoccupation dont celle-ci est affranchie pendant sa présence sous les drapeaux, le jugement attaqué a violé le texte susvisé ;

Par ces motifs,

Casse... renvoie devant le juge de paix du Chambon-Feugerolles.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 10. — 6 SEPTEMBRE 1930.

Chronique. — A propos du fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique, p. 345. — Bibliographie : Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse; tome I, par André TENOT, p. 346 ; Recueil sur les ondes et corpuscules, par Louis DE BROGLIE, p. 346 ; Idraulica (Hydraulique) ; tome I, par Giulio DE MARCHI, p. 347 ; Commercial alternating currents measurements (Mesures en courant alternatif), par G.-W. STUBBINGS, p. 347 ; Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektrizitätswerke (L'accumulation de l'énergie, au point de vue économique, dans les usines génératrices d'énergie électrique), par Ludwig MUSIL, p. 348 ; La vapeur à très haute pression, par F. MUNZINGER, traduit de l'allemand par A. SCHUBERT, p. 348 ; Agenda d'électricité pour 1930, par P. BUNET et A. CEYTRE, p. 348.

Section scientifique et technique. — La méthode dite des constantes généralisées et son application à l'étude de lignes de transmission d'énergie, par V. GENKIN, p. 349. — Revues, analyses et informations : La mesure des petites différences de potentiel continues et des courants dans des circuits de grande résistance, par l'emploi des tubes à vide, p. 355 ; Mesures d'impédance pour des bobines utilisées avec superposition de courants alternatif et continu, p. 357.

Section industrielle. — La ligne de transmission d'énergie à 220000 volts de Cardano à Cislago de la Società idroelettrica Piemonte, par A. DALLA VERDE, traduit de l'italien par L. VELLARD, p. 359. — Revues, analyses et informations : La ventilation d'alternateurs à pôles saillants, p. 374 ; Nouveaux dispositifs de coupe-circuit infraudable à éléments fusibles interchangeables, p. 374.

Section économique et financière. — Les règles générales suivies par les organismes français de normalisation pour assurer l'homogénéité de leurs normes, p. 375. — Assemblées générales : Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris, p. 379.

Section de législation. — La loi du 1er mai 1930 sur le régime des sociétés par actions, par Paul BOUGAULT, p. 381. — Législation, jurisprudence, réglementation : Loi modifiant les articles 61, 62, 63, 64, 69, 70 c, 73 et 73 b, du titre III, livre premier du Code du Travail, chapitre IV (de la saisie-arrêt et de la cession des salaires et petits traitements), p. 383 ; Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux assurés à la Caisse nationale des Retraites, p. 384 ; Sur les dépenses pouvant être déduites du traitement pour le calcul des impôts, p. 384.

A propos du fonctionnement du redresseur à galène : potentiel critique. — Nous recevons de M. Robert Desoille, ingénieur aux Compagnies réunies de Gaz et d'Electricité, la lettre suivante dans laquelle est signalée l'influence de la température sur le fonctionnement du redresseur à galène :

La « Revue générale de l'Electricité » du 5 juillet 1930 a publié, pages 16 et 17, l'analyse d'un article de M. A. Stefanini qui a paru dans « L'Electtricista » du 30 novembre 1929, t. XXXVIII, pages 197 à 209, sur le fonctionnement du redresseur à galène.

Si des auteurs comme Schottky et W. Deutschmann, en Allemagne, et Demontvignier, en France, ont étudié l'influence de la température sur le débit des redresseurs à oxyde de cuivre, il ne me semble pas qu'on ait décrit nulle part un phénomène qui dépend aussi de la température et que je crois devoir signaler, car il me paraît de nature à imposer une révision des études faites sur la galène et, peut-être, sur les redresseurs en général.

En juillet 1928, au cours de recherches où j'utilisais une galène comme détecteur, je me suis aperçu que la température semblait avoir une influence sur ce cristal. Je ne disposais à cette époque que d'un galvanomètre peu sensible et ce n'est que tout dernièrement que j'ai pu vérifier le fait. Le dispositif expérimental est le suivant :

On intercale une galène dans le circuit d'un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, d'une sensibilité de 5×10^{-10} A, comme le montre le schéma de la figure 1. La pointe du détecteur repose sur un point sensible de la galène. Pour la recherche des points sensibles on utilise une bobine d'induction donnant une étincelle de 5 mm, l'éclateur étant

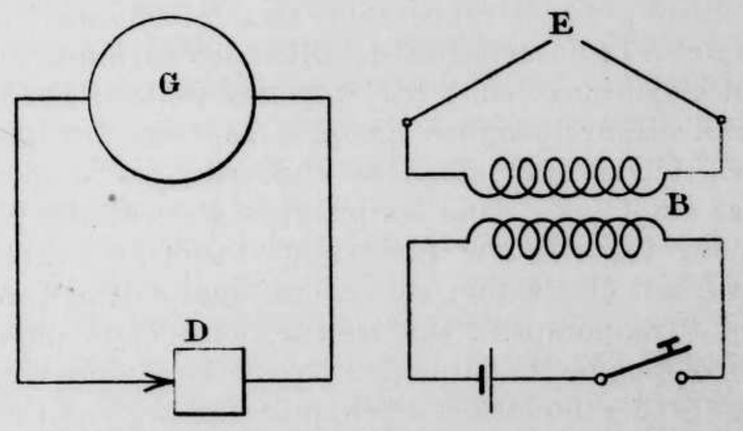


Fig. 1. — Schéma du dispositif expérimental : G, galvanomètre ; D, détecteur ; B, bobine donnant en E une étincelle de 5 mm.

formé de fils longs de 15 cm environ ; les fils de connexion de la galène au galvanomètre (longueur totale des fils, 2 m environ) servent d'antenne et l'on vérifie que le galvanomètre dévie pendant l'éclatement de l'étincelle.

Pour que tout phénomène de contact parasite soit évité,

la pointe du détecteur est constituée par l'extrémité d'un des fils de connexion au galvanomètre; l'autre fil de connexion est enroulé directement sur la galène pour assurer le contact avec cette dernière. De cette façon, aucun contact entre métaux de nature différente n'est inséré dans le circuit.

Dans ces conditions, en l'absence d'émission d'ondes par la bobine, si on approche la main de la galène, on constate que le galvanomètre dévie en sens inverse de la déviation due au courant redressé engendré précédemment par l'émission d'ondes de la bobine. La déviation est du même ordre de grandeur que celle que l'on observe quand on fait éclater des étincelles.

Si l'on approche un corps chaud de la galène, le galvanomètre dévie encore et, si le corps est assez chaud (50°C par exemple) et assez rapproché du cristal (5 à 6 cm), le spot sort de l'échelle.

Tout se passe comme si le contact du métal et du cristal était le siège d'une force électromotrice dont la valeur croît très vite sous l'effet de la chaleur.

Le courant dû à cette force électromotrice circule en sens inverse d'un courant redressé par le cristal. Il convient de noter, de plus, que le phénomène n'est nettement apparent que pour les points sensibles de la galène.

La température pouvant donc intervenir pour fausser des résultats de mesures, il sera nécessaire, si la galène est employée dans un appareil de mesure, de la protéger contre les variations de température.

En outre, il convient, peut-être, de tenir compte de ce phénomène pour introduire un facteur ou un terme, fonction de la température, dans les formules proposées relatives au phénomène de redressement des courants alternatifs par des cristaux.

Je n'ai pu faire jusqu'à présent que des essais qualitatifs-mais il sera facile à ceux qui disposent du temps et de l'outillage nécessaires, de faire les mesures quantitatives qui permettront d'exprimer la loi du phénomène que j'ai cru devoir signaler.

Bibliographie : Turbines hydrauliques et régulateurs automatiques de vitesse; tome I, par André Tenot [1]. — Le premier tome qui vient de paraître apporte une contribution importante au problème de la construction, de l'essai et de l'installation des turbines hydrauliques ainsi que de leurs régulateurs de vitesse automatiques; il contient également des notions intéressantes sur la dynamique des fluides, au moins dans le cadre de nos connaissances actuelles.

Le chapitre premier est consacré aux définitions, à la classification et à la description détaillée des turbines dont les trois types courants sont les turbines Pelton, Francis et Kaplan. L'auteur propose jusqu'à sept modes de classification. Le second chapitre concerne les dispositions générales employées dans les groupes générateurs hydrauliques pour transformer finalement l'énergie hydraulique en énergie soit électrique, soit mécanique, soit hydraulique (groupes turbopompes). On trouve, dans cette partie, de longs développements sur le principe de fonctionnement des paliers et pivots modernes à pellicule d'huile.

Dans les troisième et quatrième chapitres sont abordés l'établissement des équations fondamentales du fonctionnement des turbomachines et l'étude de la question de leur rendement global qui est le produit des trois rendements manométrique (correspondant aux pertes de charge), volumétrique (correspondant aux fuites) et organique (correspondant aux pertes par frottement mécanique). Ici l'auteur met en relief l'influence de la cavitation et du sillage sur les pertes de charge; d'après M. Maurice Gariel, qui a écrit une très intéressante préface pour cet ouvrage, « les effets des phénomènes de sillage et de cavitation sont extrêmement redoutables dans toute l'hydraulique; lorsqu'ils commencent à se produire, ils changent du tout au tout les sections réellement offertes d'une manière utile à l'écoulement, par conséquent, les vitesses et les pressions; ils mettent donc en déroute toutes les équations sur lesquelles on avait compté!... La même question commande également l'utilisation vraiment judicieuse du principe si fécond, mais assez subtil de la similitude ».

Le principe de la similitude est exposé dans le chapitre suivant; au point de vue pratique, la question se pose de la façon suivante : est-il possible, avant de construire un appareil, d'en établir les modalités de fonctionnement en faisant au préalable des essais sur un modèle réduit qui lui est géométriquement semblable? La réponse est affirmative tant que l'on s'en tient aux équations et formules de la mécanique et de la physique; mais le fonctionnement global d'une machine est souvent trop complexe pour que ses caractéristiques de fonctionnement puissent être exprimées par des formules simples; c'est le cas, par exemple, du rendement des turbines hyrauliques. Grâce au principe de la similitude mécanique, beaucoup de difficultés ont été aplanies; son application aux turbines a suggéré à A. Rateau la notion de vitesse spécifique, sans tenir compte cependant de l'influence de la rugosité des parois; mais M. Tenot montre, dans son ouvrage, les procédés, formules et courbes de correction qui permettent de faire intervenir ce facteur, M. Gariel, toujours dans la préface, signale qu'il faudrait encore faire intervenir « le point de sillage », c'est-à-dire la chute à partir de laquelle les phénomènes de sillage commencent à se poursuivre, puis connaître la loi de similitude lorsqu'on passe du modèle réduit à la machine réelle et de la chute d'essai à la chute d'emploi. Ces quelques remarques font nettement ressortir la difficulté du problème de la similitude étendu aux roues hydrauliques et M. Tenot s'est efforcé d'en donner la solution la plus compatible avec nos connaissances actuelles sur ce sujet.

L'ouvrage se termine par des directives générales sur le choix du nombre de groupes et sur le type de turbine à adopter, dans des installalions déterminées; l'auteur traite également des calculs numériques des dimensions principales des turbines hydrauliques et des applications directes de la similitude. — B. C.

[1] Un volume, format 25 cm × 16,5 cm, de 573 pages, avec 409 figures dans le texte, édité par la librairie Léon Eyrolles 3, rue Thénard, à Paris (6e). Prix : broché, 100 fr.

Bibliographie : Recueil sur les ondes et corpuscules, par Louis de Broglie, maître de conférences à la Sorbonne, lauréat du prix Nobel, 1929 [1]. — Dans ce recueil sont réunis les textes de cinq articles ou conférences de M. L. de Broglie sur la question des ondes et des corpuscules dans la physique moderne et sur la mécanique ondulatoire. Le sujet est présenté sous ses divers aspects, dans chacun des cinq chapitres du recueil, suivant les lecteurs et les auditeurs auxquels s'adresse l'auteur et les circonstances auxquelles correspondaient la publication de l'article ou l'exposé de la conférence.

Ainsi, dans le chapitre intitulé « La physique moderne et l'œuvre de Fresnel », article publié en 1927, dans la « Revue de Métaphysique et de Morale », l'auteur insiste tout parti-

[1] Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 80 pages, édité par la librairie Hermann et Cie, 6, rue la Sorbonne, à Paris (5e). Prix : broché, 20 fr; relié, 30 fr.

culièrement sur la dualité des deux théories de l'émission et de l'ondulation, pour faire ressortir la synthèse que réalisent les conceptions de la mécanique ondulatoire.

Le chapitre suivant, sous le titre « Ondes et corpuscules dans la physique actuelle », communication faite devant la British Association for the Advancement of Sciences, est consacré particulièrement aux expériences relatives à la diffraction des électrons et qui confirment les hypothèses servant de base à la mécanique ondulatoire. L'auteur montre pourquoi cette diffraction des électrons est imposée par la nouvelle théorie et comment cette prévision de la théorie a pu être vérifiée.

Dans les deux chapitres suivants, intitulés « La crise récente de l'optique ondulatoire » et « Comme la lumière, les électrons peuvent interférer », sont exposés, sous une forme accessible à tous, les phénomènes, notamment ceux de la photoélectricité et de la diffraction des électrons, qui conduisent à la fusion des deux notions de « corpuscules » et d' « ondes ».

Le dernier chapitre traite de la mécanique ondulatoire à un point de vue tout différent des précédents. Dans cet article de la « Revue de Métaphysique et de Morale », sous le titre « Déterminisme et causalité dans la physique contemporaine », l'auteur envisage la portée philosophique des théories de la mécanique ondulatoire après avoir analysé l'essence même des conceptions dont cette mécanique est issue.

Ce recueil donne une idée générale de ce qu'est la mécanique ondulatoire, de ses origines et, dans une certaine mesure, la mesure du possible, de ses conséquences. Les diverses faces étant présentées à des points de vue différents, il s'adresse notamment à ceux qui sans pouvoir suivre l'évolution de la physique dans ses détails, le plus souvent faute de temps, s'intéressent néanmoins aux travaux effectués dans ce domaine, à l'extension du champ de nos connaissances et aux modifications apportées aux conceptions d'ordre scientifique. — A. C.

Bibliographie : Idraulica (Hydraulique); tome I, par Giulio DE MARCHI, professeur au Real Politecnico di Milano (1). — Ce volume, le premier de l'ouvrage que l'auteur consacre à l'hydraulique, expose les fondements théoriques de cette science. Sous une bonne présentation typographique, dans une forme des plus claires et illustrée de nombreuses figures, l'exposé du sujet se divise en huit chapitres, d'égale importance, accompagné chacun d'eux d'une bibliographie.

Une lettre du professeur Gaudenzio Fantoli précède la préface où l'auteur fait l'historique de l'hydraulique et définit le rôle de la technique, comparé à celui de la science pure. Dans l'introduction, il est fait un rappel des propriétés physiques de l'eau et des liquides (densité, compressibilité, fluidité, etc), en même temps que sont précisées certaines expressions particulières.

Le premier chapitre qui traite des bases théoriques de l'hydraulique est un rappel de notions sur la mécanique des systèmes continus : efforts, équation indéfinie des systèmes continus, tubes de forces, trajectoires, équations fondamentales, fondements de la dynamique des fluides parfaits, théorème de Bernoulli, etc. Il est suivi par un chapitre consacré à l'hydrostatique, où sont successivement étudiés les conditions générales de l'équilibre et la statique des liquides, la poussée d'un liquide sur une surface (centre de poussée), des problèmes d'équilibre relatif et enfin la poussée des liquides sur les corps immergés et l'équilibre des corps flottants.

L'étude du mouvement des liquides visqueux et des résistances hydrodynamiques est exposée dans le troisième chapitre; elle comprend les équations générales, les applications des équations de Navier au mouvement uniforme, le mouvement uniforme des fluides réels et les expressions générales des résistances hydrodynamiques.

Les deux chapitres suivants sont consacrés respectivement aux courants liquides sous pression (conduites forcées) et aux courants liquides à surface libre (canaux). L'auteur y examine les caractères généraux et les formules pratiques des courants uniformes, le mouvement permanent, les pertes de charge dans les conduites, les équations générales du mouvement uniformément varié des courants dans les canaux, les ondes de translation dans ceux-ci, les coups de bélier dans les conduites forcées, etc.

Le sixième chapitre est relatif à l'écoulement des liquides par les orifices et les déversoirs. Le chapitre suivant étudie les actions dynamiques des courants permanents sur les surfaces solides en mouvement et au repos. On y trouve les bases du calcul des turbines hydrauliques. Enfin, le dernier chapitre traite du mouvement des eaux filtrantes (eaux souterraines) en tant qu'elles intéressent les applications techniques.

Des graphiques et des tableaux ainsi que des tables alphabétiques des noms d'auteurs et des matières terminent cet intéressant travail d'une grande valeur didactique pour les étudiants et les techniciens ayant à s'occuper d'hydraulique. — R. G.

Bibliographie : Commercial alternating currents measurements (Mesures en courant alternatif), par G.-W. STUBBINGS (1). — En écrivant ce traité sur les mesures en courant alternatif, l'auteur s'est proposé d'accomplir une œuvre utile à tous et qui, sans contenir des détails superflus sur la construction même des appareils servant aux mesures, ne laisse dans l'ombre aucun des points dont la connaissance est indispensable à l'ingénieur.

Il a jugé nécessaire de débuter par quelques notions d'ordre général sur les courants alternatifs et plus particulièrement sur celles qui sont en rapport direct avec les mesures faisant l'objet du livre. Il est évident, en effet, qu'on ne saurait aborder la mesure du facteur de puissance et de la puissance sur les circuits triphasés non équilibrés sans avoir, au préalable, exposé avec quelque développement la représentation graphique des courants et tensions triphasés.

Une place assez étendue a été consacrée aux transformateurs de mesure et au calcul des erreurs qui sont dues à leur présence dans le circuit.

L'étude des méthodes et appareils de mesure de la puissance réactive a également, en raison de son importance industrielle, fait l'objet d'un chapitre.

Le dernier chapitre, qui n'est certes pas le moins intéressant, a été consacré à la description du laboratoire d'essais et de mesures électriques. L'auteur a indiqué comment il doit être organisé et il a donné quelques précisions sur les appareils d'utilisation courante dans un tel laboratoire. Signalons, en particulier, que M. Stubbings y a mentionné sous quelle forme devrait être évaluée l'erreur concernant

(1) Un volume, format 24 cm × 17 cm, de 547 pages, avec 227 figures et 2 tableaux dans le texte et 4 tableaux hors texte, édité par la librairie Ulrico Hoepli, à Milan. Prix : broché, 80 lire.

(1) Un volume, format 22 cm × 15 cm, de 325 pages, avec 169 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman and Hall's, 11, Henrietta Street, Covent Garden, à Londres WC 2. Prix : relié, 15 shillings.

les différents appareils et il a rappelé, à ce sujet, la méthode adoptée par le National physical Laboratory. En suivant ces indications on a l'avantage de fournir à l'industrie des résultats de mesure plus homogènes et surtout mieux définis, ce qui est certainement un avantage un peu trop négligé jusqu'à ce jour.

En annexe, on trouve quelques développements mathématiques sur les mesures d'angles et les fonctions trigonométriques, qui sont destinés à faciliter la lecture de l'ouvrage. — B. E.

Bibliographie : Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektrizitätswerke (L'accumulation de l'énergie, au point de vue économique, dans les usines génératrices d'énergie électrique), par Ludwig Musil (1). — Ainsi que l'indique le titre, cet ouvrage traite de l'accumulation de l'énergie au point de vue purement économique ; en ce qui concerne la description des divers systèmes d'accumulation, l'auteur renvoie le lecteur à un ouvrage du docteur Pauer, publié en 1928.

Une distinction est établie entre l'énergie dite « brute », comme l'énergie hydraulique telle qu'elle se trouve dans la chute d'eau même, et l'énergie dite « ennoblie » ou transformée pour son utilisation. Les dépenses afférentes à l'accumulation de l'énergie diffèrent suivant qu'il s'agit d'énergie brute ou d'énergie ennoblie, les frais de transformation et les considérations relatives aux pertes d'énergie qui accompagnent cette transformation intervenant de façon différente dans les deux cas. Outre ces deux états extrêmes de l'énergie, l'auteur considère encore un état intermédiaire, l'énergie n'étant plus brute, ni totalement transformée pour son utilisation. Il montre, dans la première partie de l'ouvrage, comment l'énergie accumulée, sous l'une des trois formes définies ci-dessus et envisagées successivement, intervient pour assurer une répartition uniforme de la charge des machines génératrices. L'étude de cette intervention est basée sur la discussion de relations établies au préalable entre les divers facteurs qui définissent le fonctionnement de l'installation, durées de service des divers organes, facteurs d'utilisation, rendement annuel, etc.

Les données du problème étant en quelque sorte posées, c'est-à-dire le rôle des divers modes d'accumulation étant nettement déterminé, l'auteur traite en détail, dans la deuxième partie, des dépenses afférentes à l'accumulation de l'énergie, tenant compte dans chaque cas des pertes d'énergie qu'entraîne cette accumulation. Cette étude permet de calculer l'importance de l'économie éventuelle résultant de l'adoption de telle solution.

De cette étude des nombreux cas qui peuvent se présenter sont déduites certaines règles à suivre dans le choix du mode d'accumulation, règles qui sont résumées à la fin de l'ouvrage. — A. C.

Bibliographie : La vapeur à très haute pression, par F. Munzinger, docteur-ingénieur, traduit de l'allemand par A. Schubert, ingénieur des Arts et Manufactures (2). — L'utilisation de la vapeur d'eau à des pressions de plus en plus élevées, notamment dans les usines génératrices, est une question à l'ordre du jour qui a nécessité la création d'une technique spéciale que beaucoup d'industriels et d'exploitants ont intérêt à connaître afin de déterminer exactement les avantages économiques que procure le fonctionnement du matériel générateur à des pressions supérieures à celles utilisées couramment. Or, c'est précisément dans le but d'exposer cette technique spéciale que M. Munzinger a rédigé l'ouvrage qui nous occupe et dans lequel sont étudiées en détail la production et l'utilisation de la vapeur à haute pression, étude envisagée sous le triple point de vue de la construction des appareils, de leur fonctionnement et de l'économie thermique.

En premier lieu, l'auteur traite des considérations thermiques : propriétés de la vapeur d'eau et calcul de la surface de chauffe des appareils. Il expose, au chapitre suivant ; des généralités sur la production et le transport de la vapeur à très haute pression. A cette occasion, il cite le procédé Benson et les projets du docteur Ruths, puis décrit les chaudières à très haute pression de construction normale et la chaudière Atmos, chaudière dont l'étude du fonctionnement et la construction font l'objet des quatrième et cinquième chapitres. La relation entre le prix de revient des chaudières et la pression de la vapeur est développée dans ce dernier chapitre. Enfin, après des considérations économiques qui font l'objet des septième et huitième chapitres, l'auteur termine par l'étude des chaudières Benson, Schmidt-Hartmann, La Mont et Löffler ; pour cette dernière, il donne d'une manière détaillée le calcul de la pression de vapeur la plus économique dans le cas d'une usine génératrice équipées avec de telles chaudières.

En résumé, cet ouvrage sera consulté avec profit par les métallurgistes, les constructeurs de chaudières et de moteurs, les ingénieurs et exploitants des usines thermiques. — R. G.

Bibliographie : Agenda d'électricité pour 1930, par P. Bunet, ingénieur E. P. C. I. et A. Ceytre, ingénieur E. P. C. I.(1). — Ce manuel présenté sous une forme commode, celle de l'agenda de poche, contient les documents nécessaires classés méthodiquement et d'après une documentation sérieuse. La personnalité des auteurs est un sûr garant de la bonne conception de cette œuvre nouvelle qui rendra d'excellents services à ceux qui la consulteront.

On trouvera dans la première partie de cet agenda un ensemble de tables fournissant des renseignements divers à l'usage des électriciens. Ces tables concernent des données arithmétiques ou géométriques, les diverses unités de mesure, les symboles conventionnels, les caractéristiques des divers matériaux utilisés en électrotechnique, et les données utiles pour l'établissement des lignes et des canalisations.

Un chapitre est consacré aux dynamos à courant continu, d'autres aux alternateurs, aux moteurs, aux transformateurs statiques, aux accumulateurs, à l'éclairage et au chauffage électrique, aux piles, sonneries et téléphone.

Enfin un chapitre important traite de la législation et de la réglementation des distributions d'énergie électrique. On y trouve une classification des ouvriers électriciens, les instructions concernant les dangers présentés par les courants électriques et l'arrêté du 30 avril 1927 déterminant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

Des pages blanches placées à la fin du volume, constituent l'agenda proprement dit, et permettent à chacun de noter les renseignements qui lui sont nécessaires. — R. L.

(1) Un volume, format 24 cm × 16,5 cm, de 142 pages, avec 29 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, à Berlin W 9. Prix : broché, 18 marks.

(2) Un volume, format 16 cm × 26 cm, de 275 pages, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris (6e). Prix : relié 71 fr, broché 62 fr.

(1) Un volume, format 16 cm × 10 cm, de 250 pages, avec 90 figures dans le texte, édité par la librairie J.-B. Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, à Paris (6e). Prix : relié, 20 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

La méthode dite des constantes généralisées et son application à l'étude de lignes de transmission d'énergie

La méthode des constantes généralisées, bien que connue depuis longtemps, est relativement peu ulilisée par les techniciens français. Cependant à l'étranger, et surtout aux Etats-Unis où elle fait partie du programme de l'enseignement technique, elle est entrée dans la pratique courante. Les services qu'elle est susceptible de rendre dans l'étude de nombreux problèmes paraissant à première vue inextricables justifient, pensons-nous, qu'on y revienne. L'exposé qui suit n'a, d'ailleurs, d'autre prétention que de présenter la théorie sous sa forme la plus élémentaire et de simplifier les résultats en vue de leur application commode au calcul numérique. Parmi les travaux ayant servi à la rédaction de cette étude il convient de citer tout particulièrement les ouvrages de MM. Woodruff (*) et Loew (**).

I. **Définition des constantes généralisées.** — Considérons un réseau quelconque compris dans un contour de la figure 1. Le courant y pénètre par le point 1 et le quitte au point 2. Admettons qu'il n'existe, en dehors des points 1 et 2, aucune autre communication du réseau avec l'extérieur et que ce réseau ne contienne aucun appareil récepteur ou autre organe non assimilable à une impédance constante indépendante de la tension et du courant.

Nous examinerons d'abord deux régimes particuliers de fonctionnement du réseau : en court-circuit et à vide.

Lorsque les bornes 2 sont réunies en court-circuit

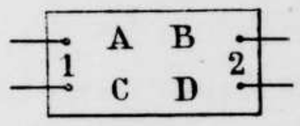


Fig. 1. — Schéma d'un réseau.

par une connexion sans résistance cette dernière est parcourue par un certain courant I_2.

Les courants dans toutes les branches du réseau sont proportionnels au courant I_2 et on pourra en dire autant des tensions dans tous les nœuds.

En particulier la tension U'_1 à l'entrée du réseau sera une fonction linéaire du courant I_2

$$U'_1 = BI_2, \qquad (1)$$

où B est une constante complexe ayant comme dimensions celles d'une impédance.

De même entre le courant I'_1 pénétrant dans le réseau et le courant I_2 à l'endroit du court-circuit, il existe une relation de même forme

$$I'_1 = DI_2, \qquad (2)$$

où la lettre D désigne un facteur complexe sans dimensions.

En se basant sur les mêmes considérations et en désignant par U_2 la tension au point 2, on établira deux autres relations valables en régime à vide ($I_2 = 0$)

$$U''_1 = AU_2, \qquad (3)$$

$$I''_1 = CU_2. \qquad (4)$$

Les constantes A et C sont également des grandeurs complexes, la première sans dimensions et la deuxième ayant les dimensions d'une admittance.

Supposons ensuite que le réseau fournit un courant I_2 sous une tension U_2. Ce régime de charge pourra être considéré comme résultat de la superposition d'un régime à vide correspondant à la tension secondaire U_2 et d'un régime en court-circuit avec le courant secondaire I_2.

La tension U_1 et le courant I_1 au point 1 à l'entrée du réseau seront exprimés par les sommes vectorielles

$$U_1 = U'_1 + U''_1, \qquad I_1 = I'_1 + I''_1.$$

En définitive on aboutit à la conclusion que, d'une façon générale, il existe deux relations linéaires suivantes valables pour un régime quelconque en charge

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= AU_2 + BI_2, \\ I_1 &= CU_2 + DI_2. \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

En résolvant ces deux équations par rapport à U_2 et I_2, on établit un nouveau système d'équations réciproque au précédent

$$\left.\begin{aligned} U_2 &= \frac{D}{\Delta} U_1 - \frac{B}{\Delta} I_1, \\ I_2 &= -\frac{C}{\Delta} U_1 + \frac{A}{\Delta} I_1; \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

(*) Woodruff. *Principles of electrical power transmission.*
(**) Loew. *Electrical power transmission.*

où Δ désigne le déterminant

$$\Delta = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} = AD - BC. \qquad (7)$$

Les quatre constantes A, B, C, D ne sont pas indépendantes, étant liées entre elles, dans le cas général, par la relation

$$\Delta = 1. \qquad (8)$$

La relation (8) découle de la loi de réciprocité. Elle peut être démontrée aussi directement de la façon suivante(1):

Appliquons les équations (5) à un circuit composé de quatre impédances différentes quelconques.

La figure 2 représente un tel circuit comportant deux impédances Z_1 et Z_2 et deux admittances Y_1 et Y_2.

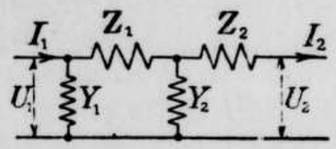


Fig. 2. — Schéma équivalent à quatre impédances.

Posons d'abord $I_2 = 0$ et calculons la tension U_1 et e courant I_1 à vide

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (1 + ZY_2)\, U_2, \\ I_1 &= (Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z_1)\, U_2. \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Faisons le même calcul au régime de court-circuit pour $U_2 = 0$,

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Y_2) I_2, \\ I_1 &= [1 + Y_1 Z_1 + Y_2 Z_2 + Y_1 Z_2 + Y_1 Y_2 Z_1 Z_2] I_2. \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

En identifiant les coefficients des équations (9), (10) et (5) on trouve

$$\left.\begin{aligned} A &= 1 + Z_1 Y_2, \\ B &= Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Y_2, \\ C &= Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z_1, \\ D &= 1 + Y_1 Z_1 + Y_2 Z_2 + Y_1 Z_2 + Y_1 Y_2 Z_1 Z_2. \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Les quatre inconnues Z_1, Z_2, Y_1, Y_2 peuvent toujours être déterminées de manière à vérifier le système des quatre équations simultanées (11). Les équations (5) sont donc susceptibles d'être représentées dans le cas le plus général par le circuit de la figure 2.

Or, en explicitant les coefficients suivant les relations (11) et en effectuant les opérations, on trouve facilement

$$AD - BC = 1. \qquad (8)$$

On en conclut que dans le cas le plus général, un réseau possédant une seule entrée et une seule sortie est complètement défini par trois constantes indépendantes et se ramène, par conséquent, à un circuit équivalent ne contenant que trois impédances,

II. **Schémas en τ et en π équivalant à un réseau.** — Considérons le schéma en π de la figure 3, comportant une impédance Z et deux admittances Y_1 et Y_2.

Il vient d'être démontré qu'un réseau quelconque,

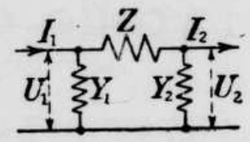


Fig. 3. — Schéma en π.

ayant comme équation de fonctionnement le système de deux équations (5) est réductible à un circuit de trois impédances.

Cherchons les relations qui existent entre les constantes généralisées A, B, C, D et les impédances du schéma en π.

A vide ($I_2 = 0$) on a

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (1 + ZY_2)\, U_2, \\ I_1 &= (Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z)\, U_2. \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

En court-circuit on trouve

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= ZI_2, \\ I_1 &= (1 + Y_1 Z)\, I_2. \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

En identifiant les coefficients des équations (12), (13) et (5) on obtient le résultat

$$\left.\begin{aligned} A &= 1 + ZY_2, \\ B &= Z, \\ C &= Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z, \\ D &= 1 + ZY_1. \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

On en tire la solution

$$Z = B, \quad Y_1 = \frac{D-1}{B}, \quad Y_2 = \frac{A-1}{B}. \qquad (15)$$

La troisième équation (14) est vérifiée car elle se ramène à la relation (8).

Au lieu de considérer le schéma en π, on peut se servir du schéma en τ, représenté sur la figure 4 et

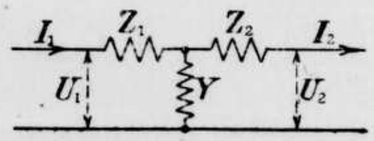


Fig. 4. — Schéma en τ.

composé de deux impédances Z_1 et Z_2 et d'une admittance Y.

(1) F. Creedy; A proof that the induction motor circle diagram applies to the transmission line. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mai 1930, t. XLIX, p. 381-385.

Comme précédemment, on trouve à vide

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (1 + YZ_1)\,U_2, \\ I_1 &= YU_2, \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

et en court-circuit

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Y)\,I_2, \\ I_1 &= (1 + YZ_2)\,I_2. \end{aligned}\right\} \quad (17)$$

La comparaison de ces résultats avec le système (5) conduit aux équations suivantes

$$\left.\begin{aligned} A &= 1 + YZ_1. \\ B &= Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Y, \\ C &= Y, \\ D &= 1 + YZ_2. \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

La solution compatible avec la relation (8) est

$$Z_1 = \frac{A-1}{C}, \quad Z_2 = \frac{D-1}{C}, \quad Y = C. \quad (19)$$

Remarquons en passant qu'un schéma en π se laisse remplacer par un schéma en τ équivalent et réciproquement. Ceci résulte de la démonstration précédente.

En effet en identifiant les coefficients des relations (12), (13) et (16), (17) on établit la condition d'équivalence des deux schémas.

Les constantes du schéma en τ équivalant au schéma en π donné sont

$$\left.\begin{aligned} Y &= Y_1 + Y_2 + Y_1 Y_2 Z, \\ Z_1 &= Z\frac{Y_2}{Y}, \quad Z_2 = Z\frac{Y_1}{Y}. \end{aligned}\right\} \quad (20)$$

Inversement le schéma en π équivalant au schéma en τ donné possède les constantes

$$\left.\begin{aligned} Z &= Z_1 + Z_2 + Z_1 Z_2 Y, \\ Y_1 &= Y\frac{Z_2}{Z}, \quad Y_2 = Y\frac{Z_1}{Z}. \end{aligned}\right\} \quad (21)$$

III. **Calcul des constantes généralisées.** — Dans beaucoup de cas où le réseau est assez simple, il suffit de calculer directement le régime à vide et en court-circuit pour tirer ensuite les valeurs des constantes A, B, C, D, des résultats qui se présentent sous forme des relations (1), (2), (3), (4).

Lorsque le réseau est complexe, il y a quelquefois intérêt à calculer d'abord l'impédance apparente à vide et en court-circuit du réseau lui-même et d'en déduire ensuite les constantes généralisées.

Les équations (5) montrent que l'impédance apparente à vide ($I_2 = 0$) est

$$\left(\frac{U_1}{I_1}\right)_0 = Z_{10} = \frac{A}{C}. \quad (22)$$

Pour un court-circuit aux bornes 2, le réseau présente une impédance apparente Z_{1cc},

$$\left(\frac{U_1}{I_1}\right)_{cc} = Z_{1cc} = \frac{B}{D}. \quad (23)$$

D'autre part, en supposant un court-circuit aux bornes 1, on tire des équations (6), I_1 et I_2 étant inversés

$$\left(\frac{U_2}{I_2}\right)_{cc} = Z_{2cc} = -\frac{B}{A}. \quad (24)$$

En tenant compte de la relation (8) on trouve

$$Z_{10} - Z_{1cc} = \frac{1}{CD}.$$

D'autre part, on a

$$Z_{10} Z_{1cc} = \frac{AB}{CD},$$

Les constantes généralisées se trouvent ainsi exprimées en fonction des trois admittances Y_{10}, Y_{1cc} et Y_{2cc} (1)

$$A = \sqrt{\frac{Y_{2cc}}{Y_{1cc} - Y_{10}}}, \quad (25)$$

$$B = \frac{1}{Y_{2cc}} A, \quad C = Y_{10} A, \quad D = \frac{Y_{1cc}}{Y_{2cc}} A.$$

IV. **Calcul des impédances des schémas** en τ et π. — Les impédances dont se composent les circuits de remplacement en τ et en π sont fonctions des constantes A, B, C, D. Elles peuvent être également déterminées directement en connaissant les admittances apparentes du réseau Y_{10}, Y_{1cc} et Y_{2cc}. Il suffit pour cela de substituer dans les formules (15) et (19) à la place des constantes généralisées leurs valeurs tirées des relations (25). Enfin, très fréquemment, un réseau se laisse réduire par transformations successives des circuits qui le composent.

V. **Réseau symétrique.** — Souvent, le réseau situé entre les points 1 et 2 est symétrique par rapport à son milieu. Dans ce cas son schéma équivalent en τ comporte deux impédances égales $Z_1 = Z_2$ et le schéma en π deux admittances égales $Y_1 = Y_2$.

Il s'ensuit que les constantes A et D deviennent identiques et le nombre des constantes généralisées du réseau se réduit à trois.

Dans le cas d'un réseau symétrique on a donc

$$\left.\begin{aligned} A &= D, \\ A^2 - BC &= 1. \end{aligned}\right\} \quad (26)$$

Le réseau est ainsi complètement défini par deux constantes indépendantes seulement.

(1) On peut choisir à volonté trois des quatre grandeurs caractéristiques Y_{10}, Y_{20}, Y_{1cc}, Y_{2cc}.

VI. Schéma en π d'une ligne de transmission d'énergie à constantes réparties. — 1. Facteurs de correction de Kennelly. — A titre d'exemple nous appliquerons les résultats à un réseau simple constitué uniquement par une ligne de transmission d'énergie partant du point 1 et aboutissant au point 2.

Désignons par Z l'impédance totale, par Y l'admittance latérale totale de la ligne, par $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ son impédance naturelle et par Y_0 la valeur inverse à Z_0.

L'angle complexe θ de la ligne entière est

$$\theta = \sqrt{YZ} = \alpha + j\beta. \qquad (27)$$

où $j = \sqrt{-1}$, α, un angle en radians hyperboliques et β, un angle en radians circulaires.

Les équations bien connues déterminent les vecteurs de tension et de courant U_1 et I_1 au départ de la ligne en fonction des vecteurs U_2 et I_2 à l'arrivée, soit

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= U_2 \cosh\theta + I_2 Z_0 \sinh\theta, \\ I_1 &= U_2 Y_0 \sinh\theta + I_2 \cosh\theta. \end{aligned}\right\} \qquad (28)$$

En comparant les équations (28) et (5) on constate que les constantes généralisées d'une ligne, seule sont

$$A = D = \cosh\theta, \quad B = Z_0 \sinh\theta, \quad C = Y_0 \sinh\theta. \qquad (29)$$

La condition (8) est bien vérifiée.

$$A^2 - BC = \cosh^2\theta - \sinh^2\theta = 1.$$

La ligne à constantes réparties n'étant qu'un cas particulier d'un réseau, il est à priori évident qu'elle pourra être remplacée par son schéma équivalent en T ou en π.

Choisissons ce dernier comme le plus commode dans la majorité des cas.

La composition du schéma en π est définie par les relations (15). Dans le cas particulier on a

$$Z = B = Z_0 \sinh\theta, \qquad (30)$$

$$Y_1 = Y_2 = \frac{\cosh\theta - 1}{\sinh\theta}\,\frac{1}{Z_0},$$

ou bien

$$Y_1 = Y_2 = Y_0 \operatorname{tgh}\frac{\theta}{2}. \qquad (31)$$

Les expressions (30) et (31) conduisent immédiatement aux facteurs de correction de Kennelly, que nous désignerons par K_1 et K_2.

En effet, l'impédance totale de la ligne est $Z = Z_0\theta$ et l'admittance latérale totale est $Y = Y_0\theta$.

Après substitution dans les expressions (30) et (31) ces dernières deviennent

$$z = Z\frac{\sinh\theta}{\theta} = ZK_1, \qquad (30\text{ bis})$$

$$Y_1 = Y_2 = \frac{Y}{2}\,\frac{\operatorname{tgh}\frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}} = \frac{Y}{2}K_2. \qquad (31\text{ bis})$$

Ces formules bien connues démontrent qu'une ligne à constantes réparties, tout comme une ligne courte, se laisse remplacer par un circuit en π composé d'une impédance Z en série et de deux admittances $\frac{1}{2}Y$ en dérivation, à la condition cependant de corriger ces valeurs ponctuelles en les multipliant respectivement par les facteurs numériques K_1 et K_2.

Pour une ligne courte $K_1 = K_2 = 1$. Dans le cas général les facteurs de correction de Kennelly sont des nombres complexes.

Leurs expressions analytiques, bien que très simples, contiennent les fonctions hyperboliques d'une variable imaginaire et sont pour cette raison peu commodes à employer dans les applications numériques.

Cependant une transformation très simple permet de chasser les imaginaires de ces expressions et de les simplifier encore dans le cas très fréquent où les arguments α et β sont suffisamment faibles.

Considérons d'abord le coefficient K_1

$$K_1 = \frac{\sinh\theta}{\theta}. \qquad (32)$$

Remplaçons θ par sa valeur (27)

$$K_1 = \frac{\sinh\alpha\cos\beta + j\cosh\alpha\sin\beta}{\alpha + j\beta}.$$

Le module du facteur K_1 est donc

$$\operatorname{mod}[K_1] = \sqrt{\frac{\sinh^2\alpha + \sin^2\beta}{\alpha^2 + \beta^2}}, \qquad (33)$$

et son argument exprimé par la tangente de l'angle correspondant

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{\alpha\operatorname{tg}\beta - \beta\operatorname{tgh}\alpha}{\alpha\operatorname{tgh}\alpha + \beta\operatorname{tg}\beta}. \qquad (34)$$

Passons au facteur K_2 qui a pour expression

$$K_2 = \frac{\operatorname{tgh}\frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}}. \qquad (35)$$

En remplaçant θ par sa valeur $\alpha + j\beta$, il vient

$$K_2 = \frac{2}{\alpha + j\beta}\,\frac{\sinh\alpha + j\sin\beta}{\cosh\alpha + \cos\beta}.$$

Le module de K_2 et l'argument φ_2 de ce nombre complexe sont

$$\text{mod}\,[K_2] = \frac{2}{\cosh\alpha + \cos\beta}\sqrt{\frac{\sinh^2\alpha + \sin^2\beta}{\alpha^2+\beta^2}}, \qquad (36)$$

$$\text{tg}\,\varphi_2 = \frac{\alpha\sin\beta - \beta\sinh\alpha}{\alpha\sinh\alpha + \beta\sin\beta}. \qquad (37)$$

Souvent l'amortissement est assez faible pour qu'on puisse poser $\sinh\alpha = \text{tgh}\,\alpha = \alpha$ et $\cosh\alpha = 1$.

Dans ce cas les expressions ci-dessus deviennent

$$\text{mod}\,[K_1] = \sqrt{\frac{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2}{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 + 1}}, \qquad (33\text{ bis})$$

$$\text{tg}\,\varphi_1 = \frac{\alpha}{\beta}\,\frac{\frac{\text{tg}\,\beta}{\beta} - 1}{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 + \frac{\text{tg}\,\beta}{\beta}}, \qquad (34\text{ bis})$$

$$\text{mod}\,[K_2] = \frac{2}{1+\cos\beta}\,\text{mod}\,[K_1], \qquad (36\text{ bis})$$

$$\text{tg}\,\varphi_2 = -\frac{\alpha}{\beta}\,\frac{1 - \frac{\sin\beta}{\beta}}{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^2 + \frac{\sin\beta}{\beta}}. \qquad (37\text{ bis})$$

Enfin, pour une ligne de longueur moyenne, les deux nombres α et β sont faibles. On pourra, alors, développer en série les fonctions hyperboliques et trigonométriques et, en négligeant les termes de puissance supérieure à 3, obtenir les expressions approchées des facteurs de correction.

Ces expressions approchées sont

$$\text{mod}\,[K_1] = 1 - \frac{1}{6}(\beta^2 - \alpha^2), \qquad (33\text{ ter})$$

$$\varphi_1 = \frac{\alpha\beta}{3}\left[1 - \frac{1}{3}(\beta^2 - \alpha^2)\right], \qquad (34\text{ ter})$$

$$\text{mod}\,[K_2] = 1 + \frac{1}{12}(\beta^2 - \alpha^2), \qquad (36\text{ ter})$$

$$\varphi_2 = -\frac{\alpha\beta}{6}\left[1 + \frac{1}{6}(\beta^2 - \alpha^2)\right]. \qquad (37\text{ ter})$$

Calcul des paramètres α et β. — On vient de voir que les facteurs de correction de Kennelly sont fonctions des variables α et β.

En ce qui concerne ces dernières, nous croyons utile de rappeler les expressions permettant de les calculer en partant des constantes kilométriques de la ligne.

On suppose connues la résistance r_1, la réactance x_1, la conductance latérale g_1 et la susceptance b_1, toutes ces grandeurs étant rapportées à une phase et à une longueur de 1 km de la ligne.

L'impédance et l'admittance pour une longueur de 1 km sont

$$Z_1 = r_1 + jx_1,$$
$$Y_1 = g_1 + jb_1.$$

Par définition, l'angle complexe θ_1 rapporté à une longueur de ligne de 1 km est

$$\theta_1 = \alpha_1 + j\beta_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}. \qquad (38)$$

Désignons par γ et δ les arguments et par z_1 et y_1 les modules des vecteurs Z_1 et Y_1 en posant

$$\left.\begin{aligned} Z_1 &= \sqrt{r_1^2 + x_1^2}, \quad \text{tg}\,\gamma = \frac{x_1}{r_1}, \\ Y_1 &= \sqrt{g_1^2 + b_1^2}, \quad \text{tg}\,\delta = \frac{b_1}{g_1}. \end{aligned}\right\} \qquad (39)$$

Récrivons l'expression (38) en tenant compte de ces nouvelles notations

$$\alpha_1 + j\beta_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}\cos\tfrac{1}{2}(\gamma+\delta) + j\sqrt{Z_1 Y_1}\sin\tfrac{1}{2}(\gamma+\delta).$$

En séparant les grandeurs réelles et les imaginaires il vient

$$\alpha_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}\cos\tfrac{1}{2}(\gamma+\delta), \quad \beta_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}\sin\tfrac{1}{2}(\gamma+\delta). \qquad (40)$$

L'angle $(\gamma + \delta)$ étant voisin de 180°, posons

$$\gamma + \delta = 180° - 2\nu.$$

Les expressions (40) prennent, alors, la forme

$$\alpha_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}\sin\nu, \quad \beta_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}\cos\nu. \qquad (40\text{ bis})$$

On remarque que les formules approchées (marquées ter) des facteurs K_1 et K_2 sont fonctions des expressions $\beta^2 - \alpha^2$ et $\beta\alpha$ qui se laissent calculer directement des relations (40 bis). Ces dernières pour une ligne de l kilomètres fournissent le résultat

$$\left.\begin{aligned} \beta^2 - \alpha^2 &= Z_1 l\, Y_1 l\cos 2\nu, \\ \beta\alpha &= \tfrac{1}{2} Z_1 l\, Y_1 l\sin 2\nu. \end{aligned}\right\} \qquad (41)$$

En tenant compte des mêmes relations (40 bis) on remplacera le rapport $\frac{\alpha}{\beta}$ figurant dans les formules (bis) par sa valeur $\text{tg}\,\nu$.

2. Exemples numériques. — A titre d'exemple, nous calculerons les facteurs de correction d'un schéma en π équivalant à une ligne de transmission d'énergie à haute tension pour une canalisation aérienne et souterraine.

Dans les deux cas la longueur de la ligne est intentionnellement exagérée.

1° *Ligne aérienne à haute tension.* — Nous supposons une transmission d'énergie en courant triphasé à 50 p:s; les constantes de la ligne sont : longueur 1 000 km ; section des conducteurs 400 mm² ; self-inductance par kilomètre, $L = 1{,}3$ mH ; capacité par kilomètre $C = 0{,}0085$ µF ; conductance latérale nulle.

Dans ce cas on a

$$r_1 = 0{,}044 \text{ ohm par kilomètre},$$
$$x_1 = 0{,}408 \text{ ohm par kilomètre},$$
$$Z_1 = 0{,}410 \text{ ohm par kilomètre},$$
$$b_1 = 2{,}51 \times 10^{-6} \text{ mho par kilomètre},$$
$$g_1 = 0,$$
$$Y_1 = 2{,}51 \times 10^{-6} \text{ mho par kilomètre},$$
$$\operatorname{tg} 2\nu = 2\nu = \frac{0{,}044}{0{,}408} = 0{,}108, \quad \nu = 0{,}054 ;$$

et pour la longueur totale de la ligne

$$Z = 410 \text{ ohms}, \quad Y = 2\,510 \times 10^{-6} \text{ mho},$$

d'où

$$ZY = 1{,}03, \quad \sqrt{ZY} = 1{,}015,$$
$$\alpha = 1{,}015 \times 0{,}054 = 0{,}0548, \quad \beta = 1{,}015\ [58°15'],$$
$$\frac{\sin\beta}{\beta} = 0{,}837, \quad \frac{\operatorname{tg}\beta}{\beta} = 1{,}159,$$
$$\cos\beta = 0{,}526, \quad \frac{\alpha}{\beta} = 0{,}054.$$

L'angle hyperbolique α étant faible, on pourra poser $\sin h\,\alpha = \alpha$ et utiliser les formules (33 bis), (34 bis), (36 bis) et (37 bis).

$$\text{mod}\,[K_1] = \sqrt{\frac{0{,}054^2 + 0{,}837^2}{0{,}054^2 + 1}} = 0{,}825.$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = 0{,}054\,\frac{0{,}159}{1{,}159 + 0{,}0029} = 0{,}0074\ [\varphi_1 = 25',4],$$

$$\text{mod}\,[K_2] = \frac{2}{1{,}526}\,0{,}825 = 1{,}08,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = -\,0{,}054\,\frac{1 - 0{,}837}{0{,}837 + 0{,}0029} = -\,0{,}054\,\frac{0{,}163}{0{,}840}$$
$$= -\,0{,}0105\ [\varphi_2 = -\,36'].$$

2° *Canalisation souterraine à haute tension.* — Nous admettons la transmission d'énergie en courant triphasé à 50 p:s. Les constantes de la ligne sont : longueur 200 km ; section des conducteurs 400 mm² ; self-inductance par kilomètre, $L = 0{,}5$ mH, capacité par kilomètre, $C = 0{,}2$ µF ; conductance due aux pertes diélectriques $g = 0{,}44 \times 10^{-6}$ mhos : km.

Ces valeurs correspondent aux constantes kilométriques suivantes

$$r_1 = 0{,}044 \text{ ohm par kilomètre},$$
$$X_1 = 0{,}157 \text{ ohm par kilomètre},$$
$$Z_1 = 0{,}163 \text{ ohm par kilomètre},$$
$$b_1 = 62{,}8 \times 10^{-6} \text{ mho par kilomètre},$$
$$g_1 = 0{,}44 \times 10^{-6} \text{ mho par kilomètre},$$
$$y_1 = 62{,}85 \times 10^{-6} \text{ mho par kilomètre},$$
$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{0{,}157}{0{,}044} = 3{,}7\ [75°],$$
$$\operatorname{tg}(90° - \delta) = \frac{0{,}44}{62{,}8} = 0{,}007\ [90° - \delta = 25'],$$
$$2\nu = 25° + 25' = 25°25', \quad \nu = 12°42'5,$$

Pour la longueur totale

$$Z = 32{,}6 \text{ ohms}, \quad Y = 12\,570 \times 10^{-6} \text{ mho},$$

d'où

$$ZY = 0{,}402, \quad \sqrt{ZY} = 0{,}634,$$
$$\alpha = 0{,}634 \times 0{,}22 = 0{,}14,$$
$$\beta = 0{,}634 \times 0{,}971 = 0{,}616\ [35°24'],$$
$$\frac{\sin\beta}{\beta} = 0{,}936, \quad \frac{\operatorname{tg}\beta}{\beta} = 1{,}15, \quad \cos\beta = 0{,}815, \quad \frac{\alpha}{\beta} = 0{,}227.$$

Comme précédemment on peut poser $\sinh 0{,}14 = 0{,}14$ et appliquer les formules (33 bis) à (37 bis).

Les résultats sont les suivants

$$\text{mod}\,[K_1] = 0{,}94,$$
$$\operatorname{tg}\varphi_1 = 0{,}0283,$$
$$\text{mod}\,[K_2] = 1{,}035,$$
$$\operatorname{tg}\varphi_2 = -\,0{,}0117\ [50'].$$

D'autre part en utilisant les formules approchées (33 ter) à (37 ter) on obtient

$$\beta^2 - \alpha^2 = 0{,}402 \cos 25°25' = 0{,}364,$$
$$\beta\alpha = \frac{1}{2}\,0{,}402 \times 0{,}429 = 0{,}086,$$
$$\text{mod}\,[K_1] = 1 - 0{,}0607 = 0{,}939,$$
$$\varphi_1 = 0{,}029 \times 0{,}971 = 0{,}0282,$$
$$\text{mod}\,[K_2] = 1 + 0{,}030 = 1{,}03,$$
$$\varphi_2 = -\,0{,}0143\ [1 + 0{,}061] = -\,0{,}0152\ [52'].$$

VII. **Conclusion.** — Dans le cas de deux usines travaillant sur un réseau commun, la méthode des cons-

tantes généralisées ramène le problème à un système de deux équations linéaires ne contenant que trois constantes indépendantes. Comme conséquence elle permet de remplacer le réseau quelle que soit sa complexité par un circuit de trois impédances associées en τ ou en π.

Une ligne de transmission d'énergie à constantes réparties n'étant qu'un cas particulier d'un réseau se laisse également remplacer par un schéma équivalent en τ ou en π.

Dans la plupart des cas qu'on rencontre en pratique, le calcul des schémas équivalents est très simple et rapide.

Ainsi, supposons qu'on se propose d'étudier le fonctionnement d'une installation comportant un poste élévateur, une ligne de transmission d'énergie et un poste abaisseur.

Sur la figure 5a, les deux postes sont représentés par leurs schémas équivalents en τ, le premier par le circuit $ABCB_1$ et le deuxième, par le circuit $DEFE_1$. La ligne est ramenée au schéma en π représenté par le circuit C_1CDD_1.

Afin de réduire cet ensemble à un système de trois impédances, remplaçons d'abord les deux circuits en τ par leurs circuits équivalents en π. Le résultat de cette première opération est représenté sur la figure 5b.

Une nouvelle transformation en π du circuit en τ ayant le point commun en C fait disparaître la dérivation CC_1 (fig. 5c).

Enfin la même transformation appliquée au circuit $ADFD_1$ détermine le circuit en π équivalant à l'ensemble de l'installation (fig. 5d).

Le problème se trouve ainsi ramené à l'étude d'un schéma en π (ou en τ) dont on connaît les trois impédances qui le constituent.

Ce circuit équivalent reçoit en A un courant I_1 sous

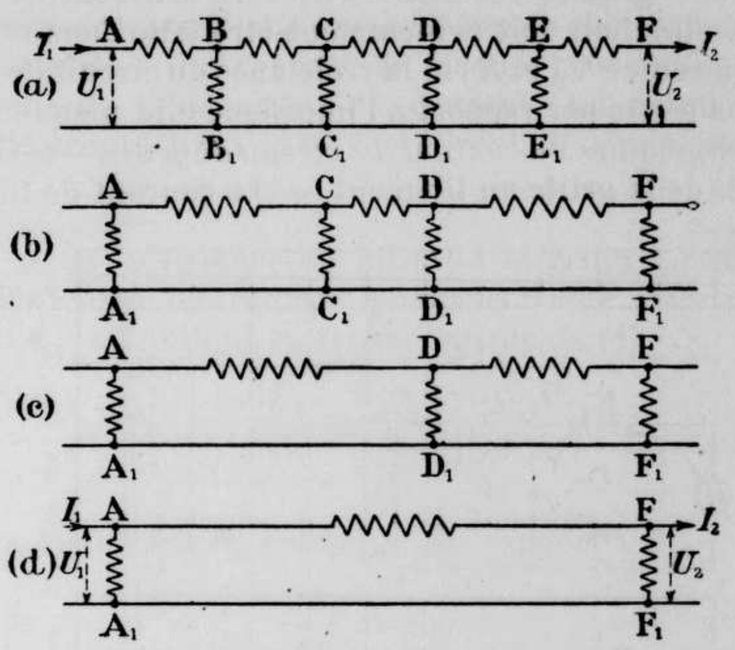


Fig. 5.— Réduction au schéma en π équivalent d'une installation comprenant un poste élévateur, un poste abaisseur et une ligne de transmission d'énergie.

une tension U_1 et délivre en F le courant I_2 sous la tension U_2.

Pour terminer l'étude on pourra alors représenter les résultats sous forme de diagrammes circulaires applicables aux schémas en τ ou en π.

V. Genkin.

Revues, analyses et informations

La mesure des petites différences de potentiel continues et des courants dans des circuits de grande résistance, par l'emploi des tubes à vide (1).

1. Introduction. — Parmi les nombreux types de circuits établis pour déceler les faibles courants traversant des circuits à grande résistance, on n'a étudié que certains dispositifs simples dont le principe repose sur l'observation d'un changement produit dans le circuit de plaque d'un tube à trois ou quatre électrodes du fait d'une variation du potentiel de grille. Ce changement du potentiel de grille est d'ordinaire provoqué par la chute de tension produite dans la résistance de grille par le courant à mesurer. Quand le circuit est employé pour des mesures de potentiel dans des circuits de grande résistance, le changement du potentiel de grille est provoqué directement. Le circuit simple de la figure 1 contient les éléments essentiels du dispositif. On peut prévoir le fonctionnement de ce circuit à partir des caractéristiques de grille et de plaque du tube, prises avec la résistance sur le circuit de plaque. Bien qu'il ne soit pas théoriquement nécessaire d'imposer cette condition concernant la résistance du circuit de plaque, elle introduit cependant une grande simplification, en ce qu'il n'est alors nécessaire de considérer que les deux courbes mentionnées ci-dessus. Si cette condition n'est pas imposée, il est nécessaire de considérer

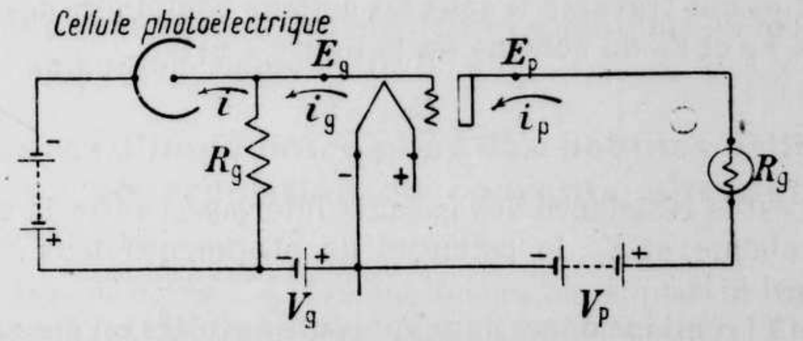


Fig. 1. — Schéma de montage pour la mesure de faibles différences de potentiel.

la famille de caractéristiques de grille, pour divers potentiels de plaque, et de même pour les caractéristiques de plaque.

2. Caractéristiques de grille. — La caractéristique de l'intensité du courant dans le circuit de grille, représentée par la ligne en trait plein de la figure 2, résulte de la superpo-

(1) W.-B. Nottingham. *Journal of the Franklin Institute*, mars 1930, t. CCIX, p. 287-348, 10 000 mots, 17 figures.

sition d'au moins quatre courants. On peut considérer ce courant comme mesuré au moyen du schéma inséré dans la figure 2. Si l'on dispose en G un galvanomètre de faible résistance, le potentiel de grille E_g sera pratiquement égal à celui de la batterie V_g. Si au contraire on introduit sur ce circuit une grande résistance, E_g sera différent de V_g. La même distinction doit évidemment être faite dans le circuit de plaque entre V_p et E_p si la résistance du circuit de plaque n'est pas petite par rapport à l'impédance de plaque.

1° *Composantes du courant du circuit de grille.*— a) Courant de fuites de la grille au filament. — Le courant de fuites du

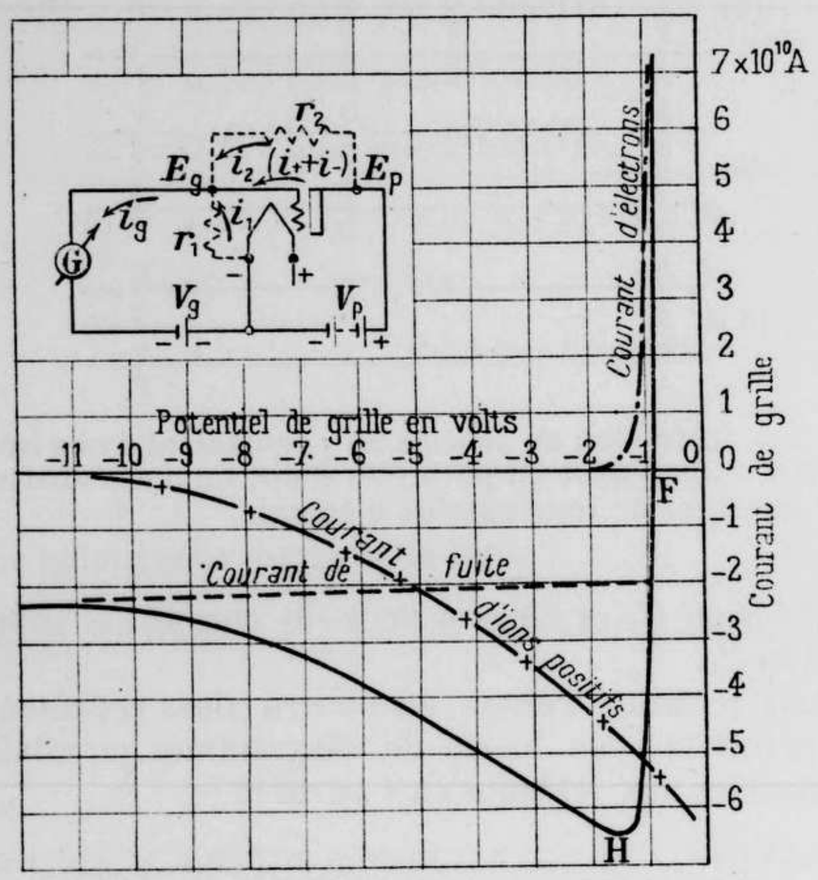


Fig. 2. — Caractéristiques du courant de grille d'un tube UX-201-A.

conducteur de grille aux connexions du filament a pour valeur

$$i_1 = -\frac{E_g}{r_1},$$

où r_1 est la résistance des isolants séparant la grille du filament, représentée symboliquement sur la figure, et E_g, le potentiel de grille, en prenant pour zéro le potentiel de l'extrémité négative du filament.

b) Courant de fuites de la plaque à la grille.— Le courant de fuites qui traverse G sous les actions combinées des batteries V_g et V_p du schéma de la figure 2 est

$$i_2 = \frac{E_p - E_g}{r_2}, \qquad (2)$$

où r_2 est la résistance des isolants interposés entre la grille et la plaque, et E_p, le potentiel de plaque, qui dans ce cas est égal à V_p.

L'effet combiné de ces deux courants de fuites est donné par

$$i_1 + i_2 = i_{12} = \frac{E_p}{r_2} - E_g\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right). \qquad (3)$$

La courbe en pointillé de la figure 2 représente ce courant de fuites.

c) Courant d'ions positifs. — Comme on ne peut extraire complètement le gaz du tube, il existera un certain courant d'ions positifs parvenant à la grille, si son potentiel est négatif par rapport aux autres parties du tube. L'intensité de ce courant d'ions sera proportionnelle au nombre de molécules gazeuses présentes et à l'intensité du courant électronique passant du filament à la plaque, si le potentiel de plaque (toujours par rapport au filament) est considérablement plus élevé que le potentiel d'ionisation du gaz. Comme le courant de plaque dépend du potentiel de grille, le courant d'ions positifs à la grille dépendra lui-même du potentiel de grille. D'ailleurs, ce courant d'ions positifs i_+ n'est pas une fonction simple du potentiel de grille et, par suite, on ne peut que lui donner la forme générale

$$i_+ = f(E_g, E_p). \qquad (4)$$

Cette relation est représentée sur la figure 2 par la courbe formée de traits et de croix.

d) Courant électronique à la grille. — Quand la grille n'est que légèrement négative par rapport à l'extrémité négative du filament, un courant peut s'établir, qui est lié au potentiel de grille par l'équation empirique

$$i_- = i_0 e^{aE_g}, \qquad (5)$$

où E_g est la valeur du potentiel de grille, qui doit être négatif par rapport à l'extrémité négative du filament pour que l'équation soit valable ; a et i_0 sont des constantes qui dépendent de la température du filament et, peut-être, du potentiel de plaque. La représentation graphique, en traits mixtes, de la figure 2 montre l'allure de cette fonction, dont la forme est de première importance.

L'intensité du courant de grille a en définitive pour valeur

$$i_g = i_1 + i_2 + i_+ + i_-; \qquad (6)$$

elle est représentée graphiquement, comme nous l'avons déjà dit, par la ligne en trait plein de la figure 2. Sa forme joue un rôle très important dans l'emploi du montage comme amplificateur de courants continus.

2° *Définition de l'impédance de grille.* — Dans les problèmes pratiques d'adaptation de ce type d'amplificateur à des buts déterminés, il n'est pas toujours nécessaire de connaître dans ses détails la caractéristique du courant de grille ; il est au contraire indispensable de mettre en évidence la forme de la courbe, afin de comprendre ce qui se passe réellement dans le circuit d'où vient le courant à mesurer. En particulier, il est important de connaître la pente de la courbe pour divers potentiels de grille, autrement dit la variation d'intensité du courant de grille provoquée par une petite variation du potentiel de grille.

On fait usage dans ce but d'une grandeur égale à l'inverse de la pente de la courbe, et qui est l'impédance de grille Z_g, ce qui donne

$$\frac{1}{Z_g} = \frac{\partial i_g}{\partial E_g}. \qquad (7)$$

On voit sur la figure 2 que Z_g est positif pour les valeurs négatives de E_g de petite valeur absolue, et négative pour des valeurs absolues plus grandes.

3° *Définition du potentiel critique.* — Le potentiel critique, représenté en F sur la figure 2, est le potentiel de la grille pour lequel l'intensité du courant de grille dans ce circuit extérieur est nul. L'impédance de grille a, en ce point, une valeur déterminée, d'ailleurs positive.

3. Caractéristiques du courant de plaque. — Les caractéristiques du courant de plaque des tubes à vide sont bien connues, et l'auteur se borne à rappeler quelques définitions.

1° *Définition de la conductance mutuelle.* — Dans un tube à vide, la conductance mutuelle G_m au voisinage d'un potentiel de grille donné est la pente de la courbe du courant de plaque en fonction du potentiel de grille prise à potentiel

de plaque constant

$$G_m = \left(\frac{\partial i_p}{\partial E_p}\right)_{E_p = \text{constante.}} \qquad (8)$$

La conductance mutuelle ainsi définie ne dépend que des caractéristiques du tube; elle est indépendante des circuits associés. La conductance mutuelle effective G'_m dépend au contraire des résistances des circuits associés, et elle peut être supérieure ou inférieure à la conductance mutuelle vraie.

2° *Définition de l'impédance de plaque.* — Elle correspond aux courbes de l'intensité du courant de plaque en fonction du potentiel de plaque, le potentiel de grille étant maintenu constant. L'impédance de plaque Z_p du tube dans un état donné est l'inverse de la pente de la caractéristique correspondante.

3° *Equation relative au courant de plaque.* — Quand il est nécessaire de représenter les caractéristiques d'un tube à vide dans un très étroit domaine de potentiels de grille et de plaque, l'équation simple suivante donne presque toujours une représentation suffisamment approchée

$$i_p = \frac{1}{Z_p}(E_p + \mu E_g + E_0), \qquad (9)$$

où E_p est le potentiel de plaque, E_g, le potentiel de grille, E_0, une constante, μ le coefficient d'amplification de potentiel, Z_p, l'impédance de plaque.

Lorsqu'on emploie cette forme simplifiée d'équation, l'on ne doit pas perdre de vue qu'elle n'est valable que dans les cas où E_0, μ et Z_p peuvent être traités comme des constantes indépendantes de E_p et E_g dans l'étroit domaine de leurs variations.

On voit d'autre part que

$$\frac{\partial i_p}{\partial E_g} = G_m = \frac{\mu}{Z_p}. \qquad (10)$$

4. Fonctionnement de l'amplificateur simple a courant continu. — 1° *Equations du circuit.* — Nous sommes maintenant à même de discuter le fonctionnement du circuit amplificateur simple de la figure 1.

Puisque le point intéressant est la sensibilité de l'amplificateur, il s'agit de savoir comment l'intensité du courant de plaque du tube dépend du potentiel de grille. Pour calculer la sensibilité, on emploie l'équation (9), et la loi de Kirchhoff relative au circuit de plaque, ce qui donne l'équation

$$E_p = V_p - R_p i_p, \qquad (11)$$

où V_p est le potentiel du pôle positif de la batterie de plaque, dont le pôle négatif est pris pour zéro de potentiel et R_p, la résistance du circuit de plaque, y compris celle de la batterie, du galvanomètre, et autres résistances du circuit.

Eliminant E_p entre (9) et (11), on obtient

$$i_p = \frac{\frac{1}{Z_p}(V_p + \mu E_g + E_0)}{1 + \frac{R_p}{Z_p}}. \qquad (12)$$

2° *Détermination de la sensibilité aux potentiels.* — La sensibilité S est définie par la pente de la caractéristique du courant de plaque en fonction du potentiel de grille. On a

$$S = \frac{\partial i_p}{\partial E_g} = \frac{\frac{\mu}{Z_p}}{1 + \frac{R_p}{Z_p}} = \frac{G_m}{1 + \frac{R_p}{Z_p}}. \qquad (13)$$

Le calcul et l'expérience montrent que, pour de petites variations de E_g, μ, Z_p et E_0 peuvent être traités comme des constantes. Quand R_p est très petit par rapport à Z_p, la sensibilité est égale à la conductance mutuelle G_m; dans le cas contraire, elle est inférieure à G_m.

3° *Détermination de la sensibilité au courant.* — Dans de nombreuses applications, on s'intéresse plus spécialement aux variations du courant de plaque provoquées par les variations de l'intensité d'un courant, tel qu'un courant photoélectrique (fig. 1). La loi de Kirchhoff donne dans ce cas

$$E_g = V_g - R_g(i_g - i), \qquad (14)$$

où R_g est la résistance de fuite de la grille à l'extérieur, et i, l'intensité du courant photoélectrique. Dérivons par rapport à i, on obtient en tenant compte de (7),

$$\frac{\partial E_g}{\partial i} = \frac{1}{\frac{1}{R_g} + \frac{1}{Z_g}}, \qquad (15)$$

et, si la résistance R_g est petite par rapport à Z_g,

$$\frac{\partial E_g}{\partial i} = R_g. \qquad (16)$$

Autrement dit, le changement du potentiel de grille est égal au changement de chute de potentiel sur la résistance de grille. Mais Z_g peut être positif ou négatif, de sorte que la variation du potentiel de grille peut être supérieure ou inférieure à cette chute de tension.

En combinant (13) et (15), on obtient

$$\frac{\partial i_p}{\partial i} = \frac{G_m}{1 + \frac{R_p}{Z_p}} \times \frac{R_g}{1 + \frac{R_g}{Z_g}}, \qquad (17)$$

équation qui donne « l'amplification de courant » d'un tube amplificateur en fonction des constantes du circuit.

Si l'on tient compte de ce que Z_g peut être négatif, on peut obtenir une sensibilité beaucoup plus grande. On ajustera V_g de façon que le potentiel de grille

$$E_g = V_g - i_g R_g, \qquad (18)$$

soit compris dans le domaine pour lequel Z_g est négatif.

Par exemple, avec le tube UX-201-A sur lequel ont été obtenues les données des figures ci-dessus, on peut obtenir, dans ce cas, une amplification de 12 700 000, alors que, avec $R_g = \infty$ et Z_g positif, l'amplification n'est que de 166 000.

Ce qui précède suffira pour se rendre compte du grand intérêt que présente cette discussion, et des conditions à remplir pour réaliser les meilleures conditions de montage dans un but déterminé. — L. B.

Mesures d'impédance pour des bobines utilisées avec superposition de courants alternatif et continu (1).

1. Introduction. — Les méthodes classiques de mesure d'impédance ne sauraient être appliquées aux bobines d'inductance et aux enroulements de transformateurs lorsque ces appareils doivent être employés dans un circuit à courant alternatif auquel on superpose un courant continu. Ce dernier change, en effet, les conditions de fonctionnement de l'ensemble et il est nécessaire d'exécuter les essais de ces bobines et transformateurs dans les conditions mêmes de leur utilisation.

(1) Masatsug Kobayashi. *The Journal of the Institute of electrical Engineers of Japan*, mai-juin 1929, numéro supplémentaire, p. 65-67, 300 mots, 2 figures.

L'auteur expose deux méthodes qui permettent d'arriver à ce résultat. La première est une méthode dérivée du pont en courant alternatif; la deuxième est basée sur la chute de potentiel à travers l'enroulement considéré.

2. Méthode du pont. — La figure 1 représente la disposition schématique des appareils. Les impédances Z_1, Z_2, Z_3 sont supposées connues; Z_4 est celle que l'on détermine. Le

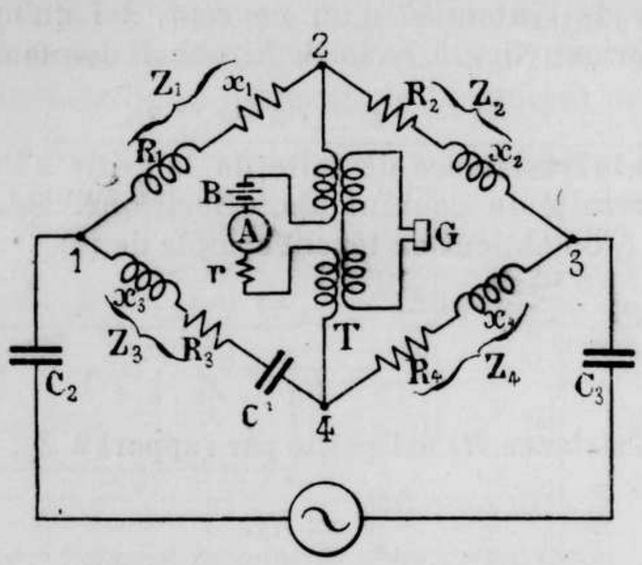


Fig. 1. — Schéma relatif à la méthode du pont.

courant alternatif est fourni, à travers les condensateurs C_2 et C_3, par le générateur placé dans la grande diagonale du pont; le courant continu, par la batterie B placée dans la petite diagonale, dont le circuit se ferme par les branches 2-3 et 3-4, les condensateurs C_1, C_2, C_3 s'opposant à son passage dans tous les autres circuits.

Le téléphone G, placé sur la diagonale 2-4 par l'intermédiaire du transformateur T, permet de repérer la position d'équilibre du pont. Lorsque celui-ci est obtenu on a

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3,$$

d'où l'on tire Z_4, les autres facteurs étant connus. R_4 et x_4 sont alors donnés par les expressions

$$R_4 = \frac{R_3 x_1 x_2 + R_2 x_1 x_2 + R_1 R_2 R_3 - R_1 x_2 x_3}{R_1^2 + x_1^2};$$

$$x_4 = \frac{R_1 R_3 x_2 + R_1 R_2 x_3 + x_1 x_2 x_3 - R_2 R_3 x_1}{R_1^2 + x_1^2}.$$

En pratique, ces expressions se simplifient beaucoup par suite de l'emploi de circuits d'inductance nulle sur certaines branches du pont.

Premier cas. — Si on a

$$\begin{cases} Z_1 = R_1, \\ Z_2 = R_2, \\ Z_3 = R_3 + j\left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}\right), \\ Z_4 = R_4 + j\omega L_4, \end{cases}$$

les expressions ci-dessus se réduisent à

$$L_4 = \frac{R_2}{\omega R_1}\left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}\right);$$

$$R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3.$$

Deuxième cas. — Si on a

$$\begin{cases} Z_1 = R_1, \\ Z_2 = R_2 + j\omega L_2, \\ Z_3 = R_3 + j\left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}\right), \\ Z_4 = R_4 + j\omega L_4. \end{cases}$$

On obtient

$$L_4 = \frac{R_3}{R_1} L_2 + \frac{R_2}{\omega R_1}\left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}\right),$$

$$R_4 = \frac{R_2}{R_1} R_3 - \frac{\omega L_2}{R_1}\left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3}\right).$$

3. Méthode de la chute de tension. — La figure 2 représente le schéma de connexions des appareils pour la réalisation de cette méthode; Z_4 est encore la bobine ou l'enroulement d'impédance inconnue.

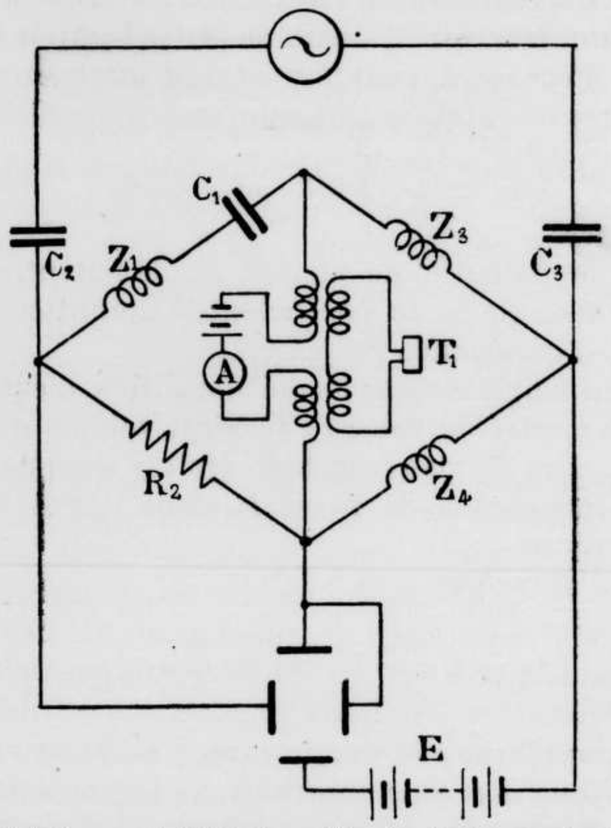


Fig. 2. — Schéma relatif à la méthode de la chute de tension.

Le montage est d'ailleurs très analogue à celui qui correspond à la première méthode. Il permet, toutefois, de faire les mesures sans connaître les caractéristiques des branches du pont Z_1 et Z_3.

Pour exécuter une mesure, on procède à l'équilibrage du pont et à des mesures de tension aux bornes de Z_4 et de la branche R_2 qui est constituée par une résistance sans inductance ni capacité et dont la valeur est connue.

Lorsque le silence est obtenu dans le téléphone, les deux courants traversant Z_4 et R_2 sont en effet égaux; leur valeur peut être déterminée par la mesure de la tension aux bornes de R_2. D'autre part, la mesure de la tension en courant alternatif aux bornes de Z_4 permet de tracer le diagramme vectoriel des tensions et courants et d'en déduire R_4 et L_4. Cette mesure de tension peut être effectuée soit avec un potentiomètre à courant alternatif, soit au moyen d'un oscillographe à rayons cathodiques.

Ces deux procédés employés par l'auteur ont toujours donné satisfaction. M. Kobayashi fait cependant remarquer, en terminant, que l'oscillographe est particulièrement bien adapté aux mesures d'impédance en courant à haute fréquence. — B. E.

SECTION INDUSTRIELLE

La ligne de transmission d'énergie à 220 000 volts de Cardano à Cislago de la Società idroelettrica Piemonte

La création d'une très importante usine hydroélectrique sur l'Isarco et la nécessité de transmettre l'énergie produite en une région distante de près de 250 kilomètres ont conduit les techniciens italiens à établir une ligne de transmission d'énergie fonctionnant à la tension de 220 000 volts et susceptible de transmettre une puissance maximum de 150 000 kilowatts. Une telle réalisation constitue en Europe un exemple sans précédent bien que certaines lignes aient été, notamment en France, projetées ou prévues pour fonctionner à la tension susdite. Cette ligne, mise en service depuis plusieurs mois et dont la présente étude (*) donne la description, est établie entre Cardano et Cislago. Elle présente des caractéristiques intéressantes en raison notamment de son tracé particulièrement accidenté et de l'emploi sur une de ses parties de pylônes en béton armé centrifugé.

I. **Généralités.** — La Società idroelettrica Piemonte (groupement S. I. P.) a mis récemment en service une ligne à 220 000 v destinée à transmettre au poste de transformation de Cislago, situé entre Varese et Monza, l'énergie électrique produite dans la nouvelle usine génératrice de Cardano, aménagée sur l'Isarco, près de Bolzano, et appartenant à la Società idroelettrica dell' Isarco.

L'usine hydroélectrique de Cardano et la ligne de Cardano à Cislago représentent un des plus importants exemples de la mise en valeur des richesses hydrauliques du Trentin.

Cette ligne dont nous entreprenons la description constitue le premier tronçon d'une importante artère orientée de l'est à l'ouest de l'Italie et qui, complétée par une dérivation vers Feltre longeant la Valsugana et par un prolongement vers Turin, unira, à travers les plaines de Lombardie, les réseaux du groupe Società idroelettrica Piemonte (S.I.P.) et du groupe Adriatica.

D'une longueur de 242 km, la ligne de Cardano à Cislago est susceptible de transmettre normalement une puissance de 120 000 kw et de 150 000 kw au maximum pour tenir compte des jonctions éventuelles avec les usines génératrices futures. Cette longueur sera portée ultérieurement à 367 km quand la ligne sera prolongée entre Cislago et Turin.

II. **Choix de la tension.** — La tension nominale du réseau à 135 000 v du Groupe S. I. P. est de 129 000 v à Cislago et d'environ 118 000 v au poste Stura, près de Turin; d'autre part, la tension des lignes d'un autre grand groupement (Edison) est, également au voisinage de Cislago, d'environ 129 000 v, valeur appropriée ainsi aux interconnexions futures. Dans ces conditions, on pouvait, lors de l'étude de la ligne, envisager, une tension d'arrivée égale à cette dernière valeur avec, à l'usine de Cardano, une tension au départ égale à 150 000 v. Mais cette tension n'était pas en harmonie avec celles utilisées sur les lignes du Trentin, qui fonctionnent à 140 000 v. D'autre part, le coût d'une ligne à 150 000 v avec une puissance maximum transmissible de 110 000 kw dépassait sensiblement le coût d'une ligne à 220 000 v avec une puissance maximum transmissible de 150 000 kw, même en tenant compte du supplément de dépenses inhérent aux postes de transformation fonctionnant à une tension aussi élevée.

En outre, les renseignements et données recueillis aux Etats-Unis étaient nettement en faveur de l'adoption d'une tension de 220 000 v et ce point de vue est encore confirmé par le fait qu'en Amérique on continue à établir les lignes nouvelles à cette tension.

Enfin, on a tenu compte que la technique moderne, tant aux Etats-Unis qu'en Europe, s'oriente vers des valeurs encore plus considérables pour les tensions des lignes de transmission futures et l'expérience du passé dans la construction des réseaux de transmission d'énergie a montré que l'adoption de la plus haute tension compatible avec les progrès de l'époque n'avait jamais donné lieu à des mécomptes.

Les réseaux de l'Italie du nord étant exploités aux fréquences de 50 et de 42 p : s, on a dû prendre également en considération les échanges éventuels d'énergie à ces deux fréquences, au lieu d'arrivée; cependant les difficultés résultant du fait d'avoir, pour le moment, une seule ligne triphasée, pouvaient se tourner facilement en faisant parvenir à Cislago, par d'autres lignes, de l'énergie à 42 p:s provenant des usines du groupe S. I. P.

En résumé, les raisons précitées ont conduit, en définitive, pour la ligne de Cardano à Cislago au choix de la tension de 200 000 v à l'arrivée, correspondant au

(*) Traduction de l'article : A. DALLA VERDE; La linea a 220 kv da Cardano a Cislago del grupo S. I. P. *L'Energia elettrica*, janvier 1930, t. VIII, p. 20-33.

départ, à une tension normale de 220 000 v et à une tension maximum de 240 000 v.

III. **Tracé de la ligne**. — On a adopté à partir de l'usine génératrice de Cardano deux lignes à trois conducteurs chacune, distantes de 35 m et établies suivant le tracé indiqué sur le plan de la figure 1.

La présence sur la rive droite de l'Isarco de jardins fruitiers et d'habitations situées sur le flanc de la montagne rendait à peu près impossible le passage de la ligne. C'est pourquoi les deux artères, en quittant l'usine de Cardano franchissent l'Isarco et croisent sur sa rive gauche la ligne électrique de contact du chemin de fer de Bolzano à Brennero (1), la route communale, le téléphérique de Colle et la ligne de transmission d'énergie des Chemins de fer de l'Etat italien.

La ligne parcourt ensuite un plateau élevé situé sur la rive gauche de l'Adige et desservi par de nombreux chemins muletiers; elle atteint alors la vallée du Fiemme à Ora et traverse la voie ferrée d'Ora à Predazzo en descendant à mi-côte vers Salorno pour aboutir à un poste de sectionnement près de Lavis. A partir de

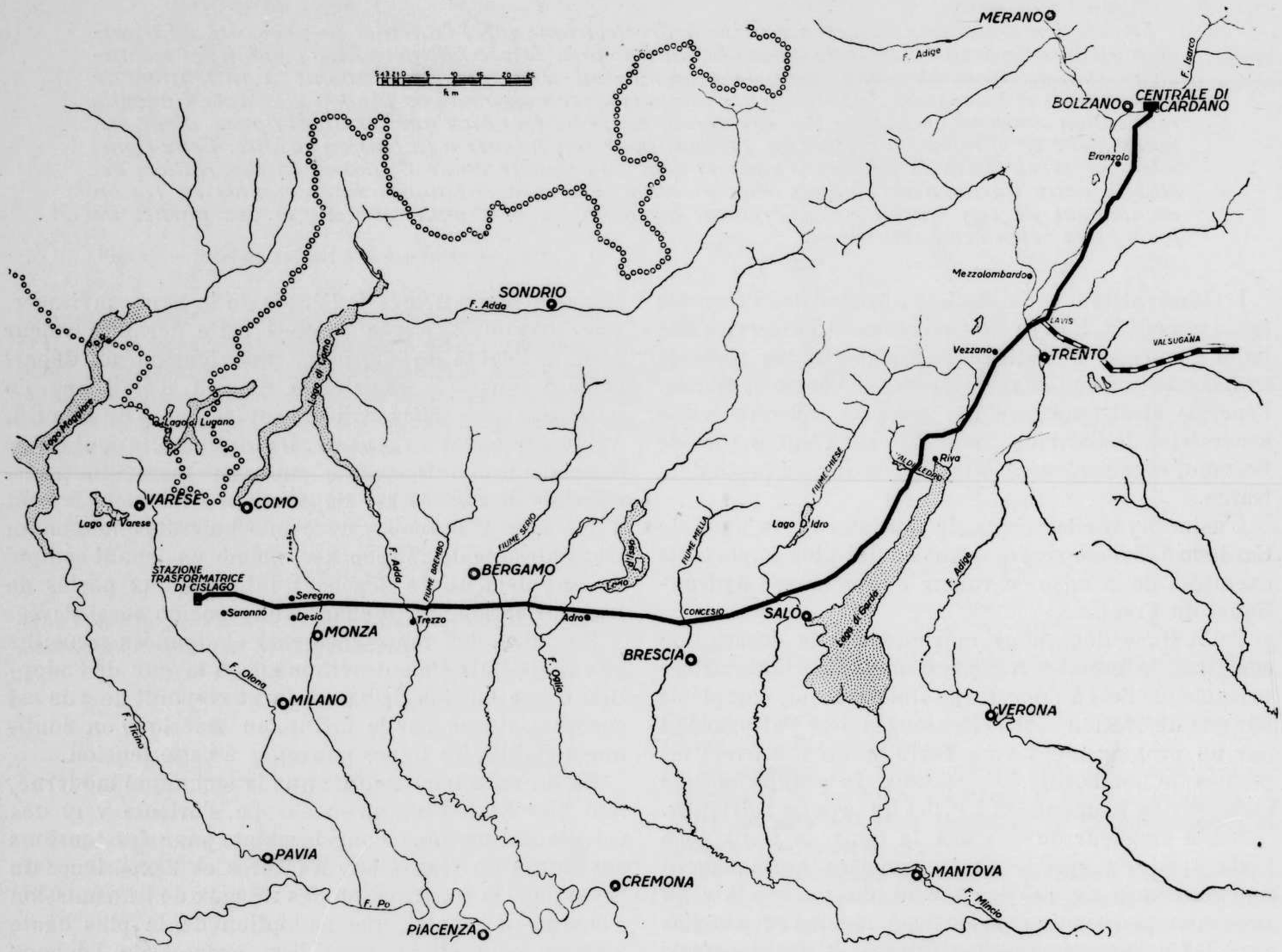


Fig. 1. — Plan montrant le tracé de la ligne à 220 000 v de Cardano à Cislago.

ce point la ligne croise la route de Trente au Brennero et franchit l'Adige en se dirigeant à travers un terrain accidenté vers le lac de Terlago et Vezzano. De ce dernier pays le tracé s'abaisse vers le fond et à gauche de la vallée du Sarca jusqu'à Riva; la ligne remonte ensuite les pentes montagneuses entre la vallée de Varone et celle de Ledro et atteint près de la cime d'Oro la cote maximum de 1 418 m.

Après avoir traversé la vallée de Ledro près de Molina, la ligne s'élève au Pas de Bestana en se développant sur un tronçon de 7,5 km de longueur en forme de V avec une dénivellation d'environ 900 m entre le fond de la vallée et les passages adjacents. Descendant ensuite dans la vallée du Bondo, la ligne parcourt sur 25 km environ le plateau bordant la rive droite du lac de Garde. Ce parcours est caractérisé par l'absence de croisements importants; des restaurations de routes militaires construites pendant la guerre ont rendu possible la communication directe entre Tre-

(1) L. Vellard; La traction électrique sur les chemins de fer italiens. *Revue générale de l'Electricité*, 16, 23 et 30 mars 1929, t. XXV, p. 411-421, 445-461 et 491-499.

mosine et la vallée de Ledro. Du Pas de Spino, à la cote de 1 168,02 m, sur Vobarno, le tracé emprunte un parcours allant du nord-est au sud-ouest; le Chiese est franchi près de Sabbio et la vallée Trompia, près de Concesio, au nord de Brescia, où sera installé un poste de sectionnement marquant la fin de la zone montagneuse du tracé.

La ligne se dirige alors à l'ouest en suivant les collines à faible pente de la région de Brescia et traverse le fleuve Oglio entre Palazzolo et Capriolo; le fleuve Serio près de Seriate; le Brembo et l'Adda près de Trezzo; elle laisse à gauche le parc royal de Monza et aboutit finalement à Cislago.

Ainsi qu'on l'a dit plus haut, la longueur de la ligne est d'environ 242 km et intéresse le territoire de 7 provinces et de 99 communes; en raison de son orientation dans la plaine — de l'ouest à l'est — elle présente de très nombreuses traversées de voies ferrées, de lignes de transmission d'énergie, de lignes téléphoniques, de routes, etc. La nature et le nombre de ces traversées sont indiqués ci-dessous :

Voies ferrées des Chemins de fer de l'Etat.	9
Voies ferrées secondaires et tramways...	15
Routes de première classe et autostrades..	9
Routes provinciales et communales importantes.....	30
Lignes téléphoniques et télégraphiques de l'Etat.....	35
Lignes téléphoniques de sociétés concessionnaires.	42
Lignes téléphoniques privées	20
Lignes électriques à haute tension	79
Lignes électriques à basse tension.	26
Téléfériques permanents	5
Cours d'eau importants	17
Total...	287

Ainsi qu'on peut le voir d'après le profil de la ligne représenté en figure 2, sur environ 150 km, le tracé se développe suivant une forme extrêmement tourmentée dans le sens vertical en empruntant un parcours montagneux dont la cote maximum atteint 1 418 m à la cime d'Oro. Il s'agissait, en effet, de descendre à la plaine lombarde en partant des Alpes tridentines et ces conditions n'ont pas été sans apporter des difficultés dans l'étude des pylônes et des conducteurs.

La portée normale est d'environ 300 m; mais il en existe un assez grand nombre atteignant plus de 500 m, comme celle de la Vallarsa qui présente 933 m de longueur. La portée sur l'Adige est longue de 456 m avec une dénivellation de 215 m.

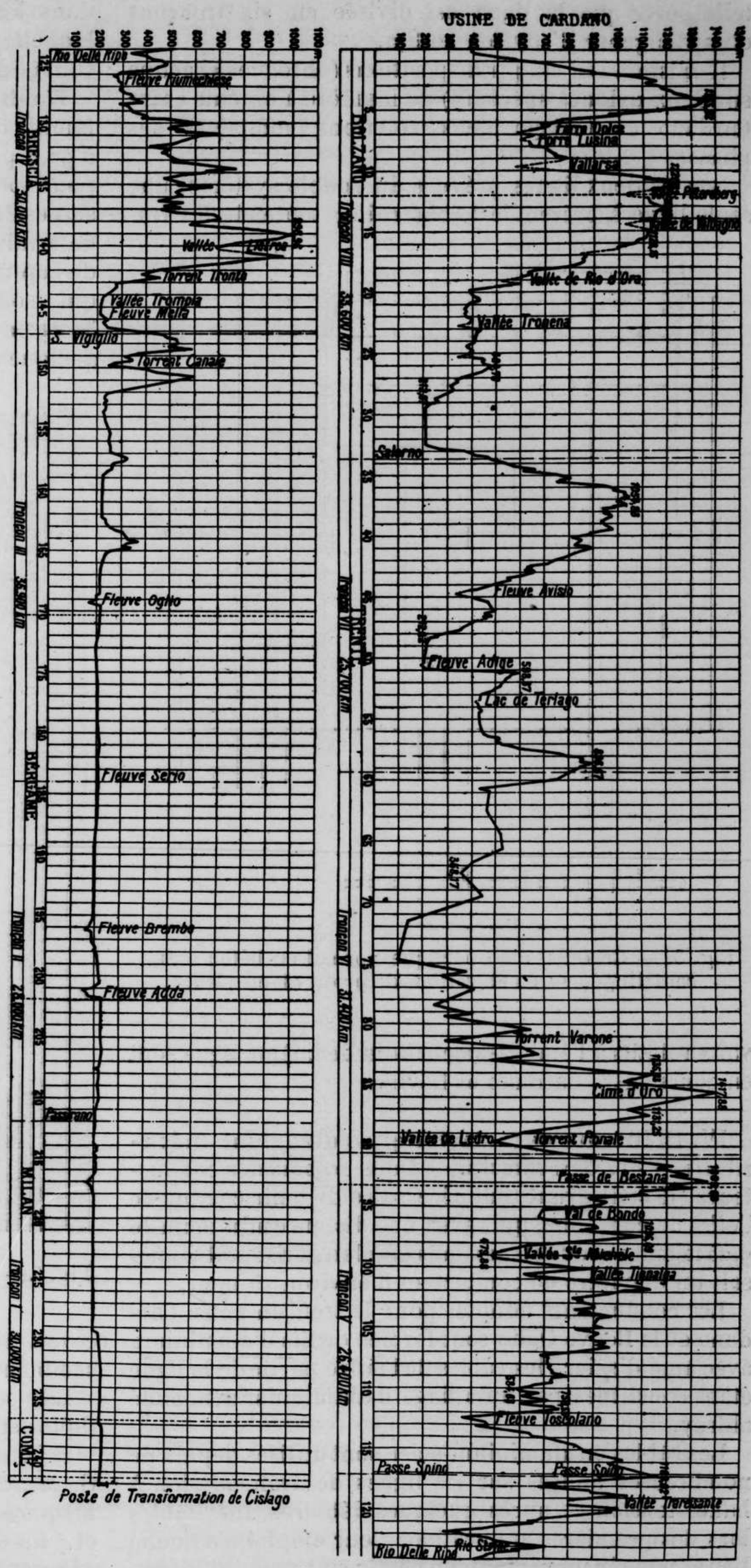


Fig. 2.— Profil de la ligne à 220 000 v de Cardano à Cislago.

On a prévu cinq ouvrages de sectionnement dont trois sur pylônes et deux aménagés dans des postes de

telle sorte que la ligne est divisée en six tronçons d'une longueur d'environ 40 km.

Il existe aussi cinq transpositions (obtenues chacune sur deux pylônes spéciaux) de manière à obtenir entre Cardano et Cislago deux rotations complètes des phases.

Sur les deux lignes prévues du double système, une seule ligne à présent est construite; toutefois les travaux relatifs à l'établissement de la deuxième ligne sont en cours entre Cardano et Lavis.

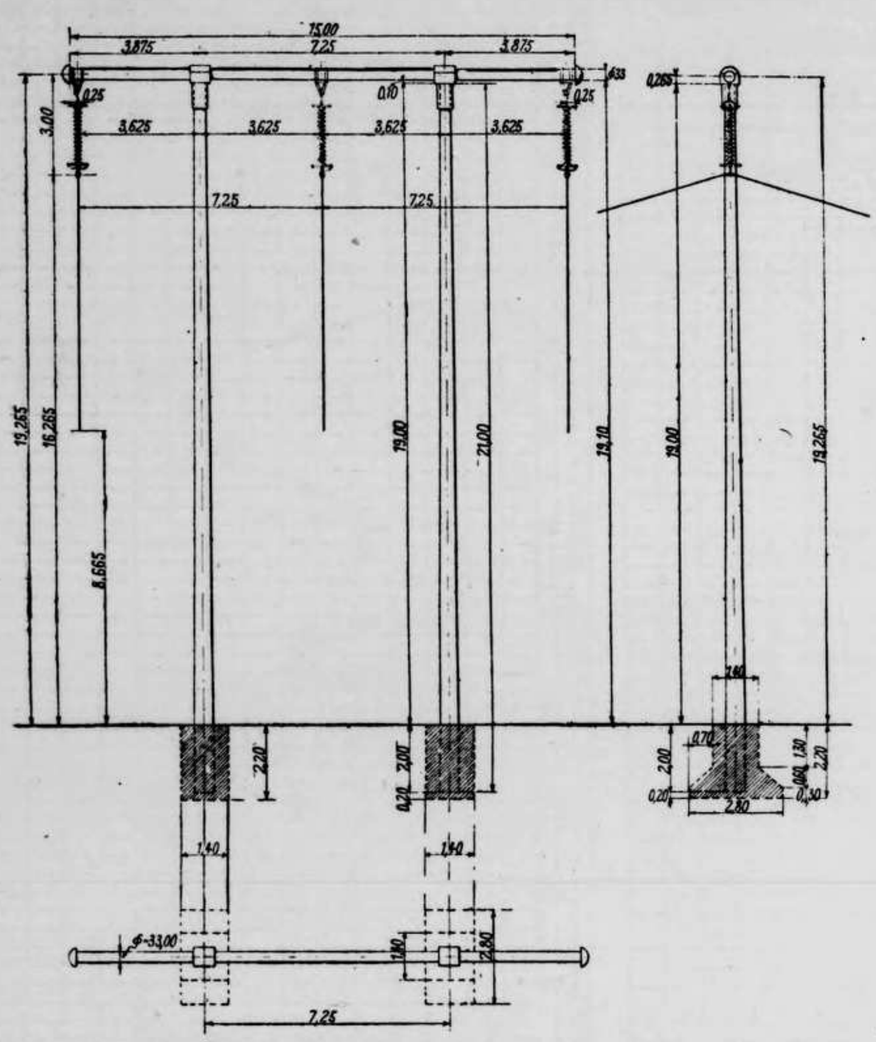


Fig. 3. — Croquis d'un portique normal en béton armé centrifugé, vu en élévation, de profil et en plan.

IV. Eléments caractéristiques du calcul mécanique. — 1. Conducteurs. — Dans le choix des conducteurs, il était avant tout nécessaire de tenir compte de l'effet de couronne, qui, avec une distance minimum de 7,25 m entre conducteurs dans un plan horizontal, imposait un diamètre de conducteur d'environ 25 mm.

Les conducteurs adoptés pour le tronçon entre Cardano et le fleuve Oglio sont formés de fils d'aluminium avec âme d'acier, les câbles de l'autre partie de la ligne étant constitués par un alliage d'aluminium dénommé aldrey.

Les câbles en aluminium-acier sont utilisés depuis de nombreuses années sur les lignes de transmission à haute tension et, après quelques déboires, inévitables lors des premières applications, leur emploi n'a donné lieu à aucun inconvénient. En négligeant au point de vue des effets électriques la contribution de l'âme d'acier, à égalité de conductivité la section d'aluminium est 1,6 fois plus grande que ne le serait la section du cuivre. Pour ce qui concerne la résistance mécanique on a suivi, dans les calculs, la conception américaine suivant laquelle on fait intervenir les deux métaux constitutifs du conducteur.

L'aldrey ou alliage n° 3 d'aluminium appartient à la famille des alliages (1) à haute teneur d'aluminium (98,5 à 98,8 pour 100) et à faible teneur de magnésium (0,6 pour 100), de silicium (0,4 pour 100) et de fer; par une succession de traitements thermiques à température déterminée, on agit sur la résistivité et sur la résistance de rupture jusqu'à l'obtention de leurs valeurs optima, qui sont respectivement de 3,3 microhms-cm et 31 kg : mm². Ce type de conducteur a été adopté depuis quelque temps avec succès et les craintes que l'on con-

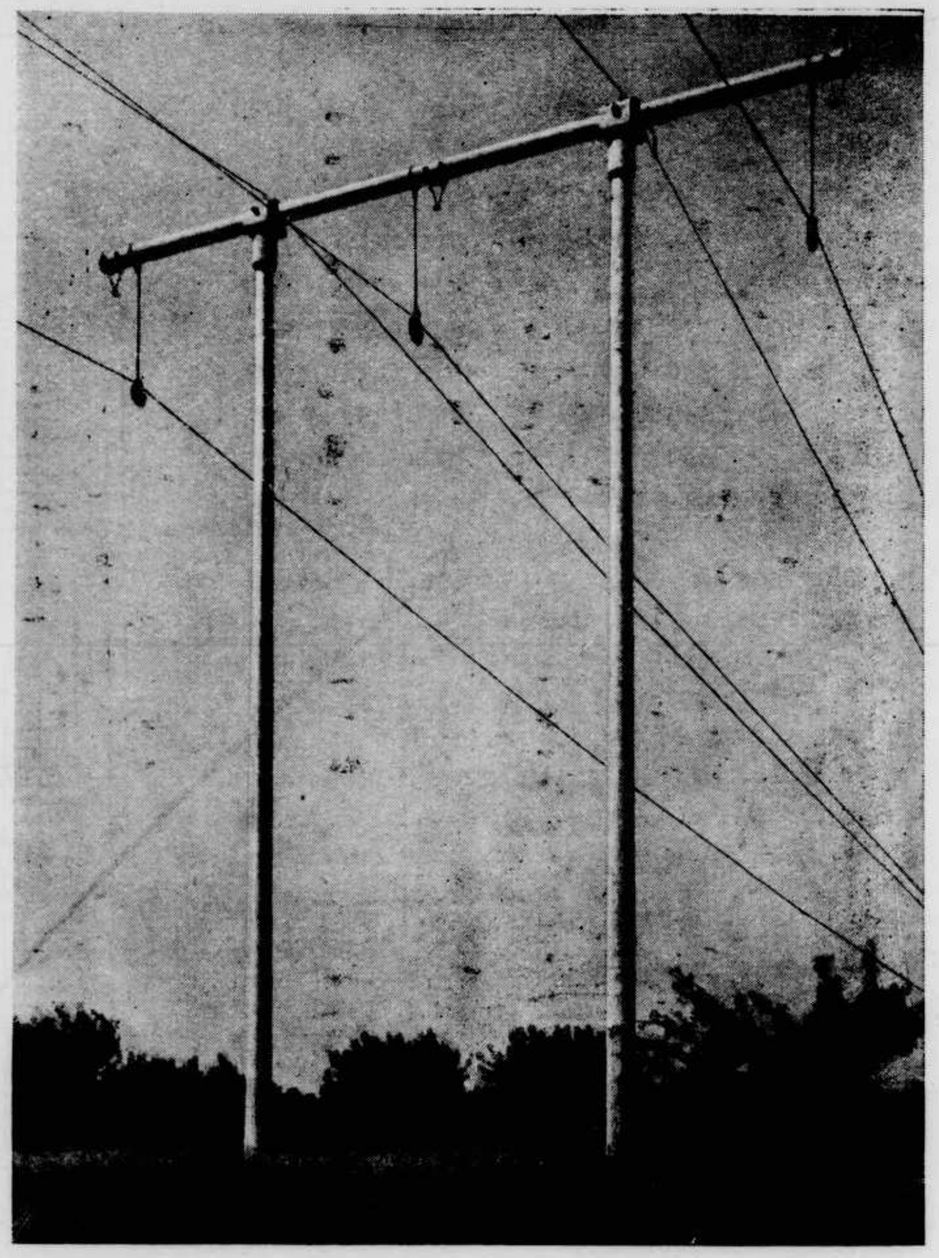


Fig. 4. — Vue d'un portique normal en béton armé centrifugé.

cevait relativement aux corrosions de cet alliage ne semblent pas fondées.

Les conducteurs choisis présentent les caractéristiques suivantes :

1° Le conducteur d'aluminium-acier est du type 636000 C. M., de l'Aluminium Company of America, mais fabriqué en Italie; il est constitué par 54 fils d'aluminium et 7 fils d'acier de 2,76 mm de diamètre; sa section, de 365 mm², est équivalente à une section de 202 mm² de

(1) H. Chaumat; Les alliages légers de haute conductivité - Leur emploi dans la construction des lignes électriques: *Revue générale de l'Electricité*, 4 mai 1929, t. XXV, p. 687-692.

cuivre; son poids par mètre courant est de 1,217 kg; son module d'élasticité E est égal à 8 050 kg : mm^2; son coefficient thermique de dilatation linéaire est de $19,7 \times 10^{-6}$; l'effort de rupture atteint 10 000 kg et le diamètre extérieur est de 24,8 mm.

2° Le conducteur en aldrey, également de fabrication italienne, est constitué par 61 fils de 2,82 mm de diamètre; sa section totale est de 380 mm^2 équivalente à 207 mm^2 de cuivre; son poids par mètre courant est de 1,06 kg; son module d'élasticité E est égal à 6 400 kg : mm^2; son coefficient thermique de dilatation linéaire est de 23×10^{-6}; l'effort de rupture atteint 11 400 kg et le diamètre extérieur est de 25,4 mm.

En relation avec ces valeurs on a fixé les sollicitations maxima des conducteurs dans les conditions les plus défavorables et, précisément, on a prescrit qu'avec

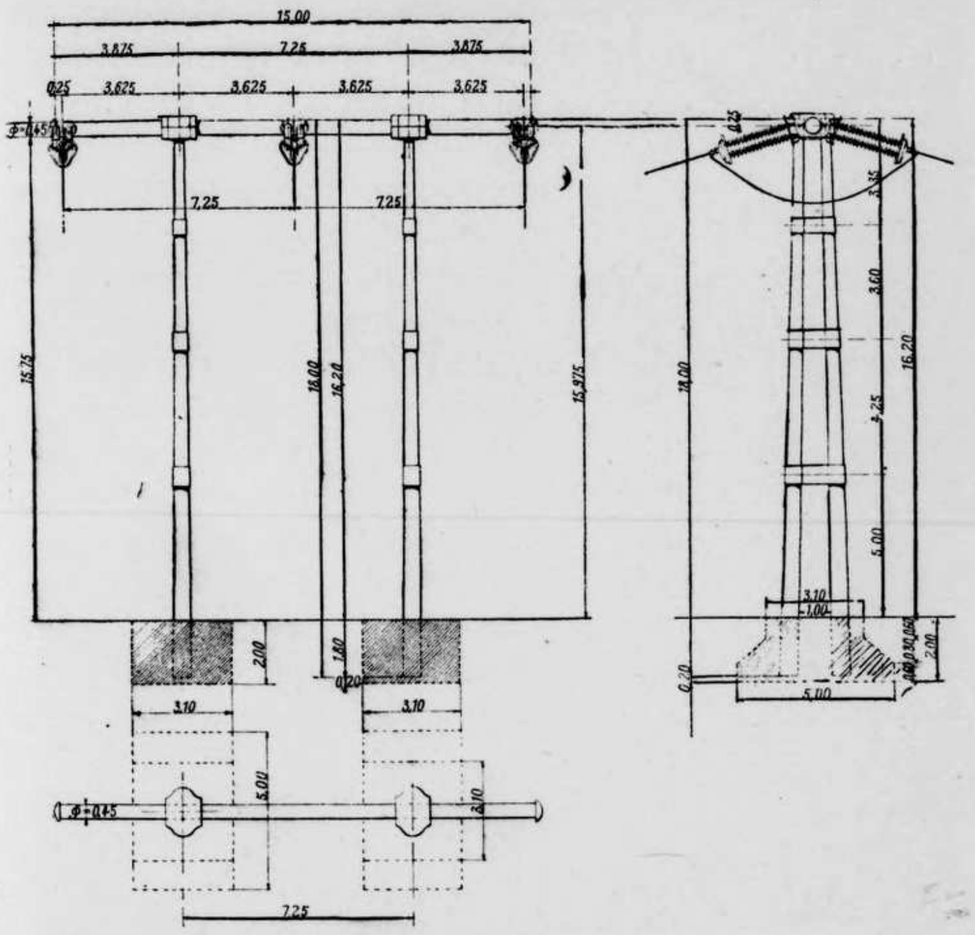


Fig. 5. — Croquis d'un portique à doubles montants jumelés vu en élévation, de profil et en plan.

une surcharge de neige de 2 kg par mètre de longueur du conducteur et à la température de 0°C, la tension totale ne doit pas dépasser 3600 kg pour l'aluminium-acier et 3800 kg pour l'aldrey.

Les coefficients de sécurité ainsi obtenus sont voisins de 3 et, par conséquent, donnent tout apaisement.

La surcharge de 2 kg de neige par mètre de conducteur est susceptible d'être atteinte en raison de la nature des régions traversées par la ligne et la possibilité d'une surcharge plus grande encore peut être envisagée, mais la marge de sécurité fixée permet de ne pas concevoir d'inquiétudes à ce sujet.

La sollicitation des conducteurs a été vérifiée pour les conditions de température minima (— 20°C) et de vent maximum (120 kg : m^2 de surface plane); pour les portées de courte longueur, c'est-à-dire inférieures à 150 m, cette dernière condition est la plus défavorable.

Afin de respecter la distance minimum du point le plus bas des conducteurs à la terre, soit 8 m, il a fallu ensuite déterminer la flèche maximum se vérifiant normalement à la température + 40°C.

Après diverses tentatives, on a fixé la portée normale à 300 m comme étant la mieux appropriée pour le parcours en montagne, et à 250 à 260 m la portée pour le parcours en plaine où les croisements sont les plus nombreux.

La distribution des supports sur le profil a été effectuée avec le système usuel des profils paraboliques en

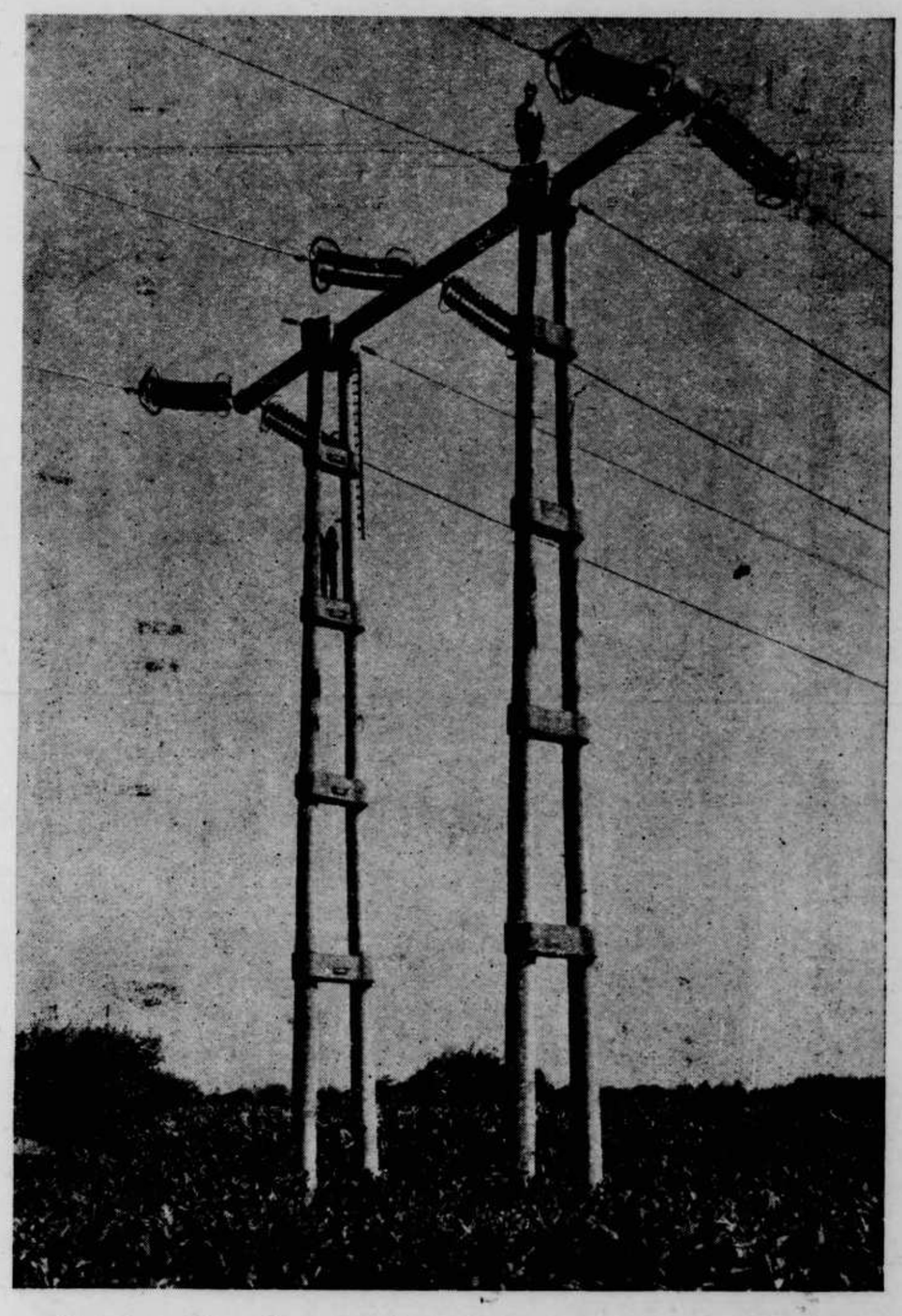


Fig. 6.— Vue d'un portique à deux montants jumelés.

celluloïd. De plus, pour la confection des tableaux de pose on a employé une nouvelle méthode exacte basée sur l'emploi des fonctions hyperboliques qui, dans la pratique, présente des qualités particulières de rapidité (1).

On doit noter que pour l'aluminium-acier on avait, dès le commencement des études, vérifié que les sollicitations dans les deux métaux constituants étaient

(1) G. Silva; Contribution à l'étude mécanique des lignes aériennes d'après les lois de la chaînette. *Revue générale de l'Electricité*, 8 et 15 février 1930, t. XXVII, p. 195-206 et 242-246, et *Compte rendu des Travaux de la cinquième Session de la Conférence internationale des grands Réseaux à haute Tension*, (Paris, 1929) t. II, p. 70-158.

comprises entre des limites acceptables. On sait que dans les conducteurs bimétalliques (dans lesquels les deux métaux ont des coefficients de dilatation thermique différents) chaque variation de température modifie la distribution des sollicitations et précisément

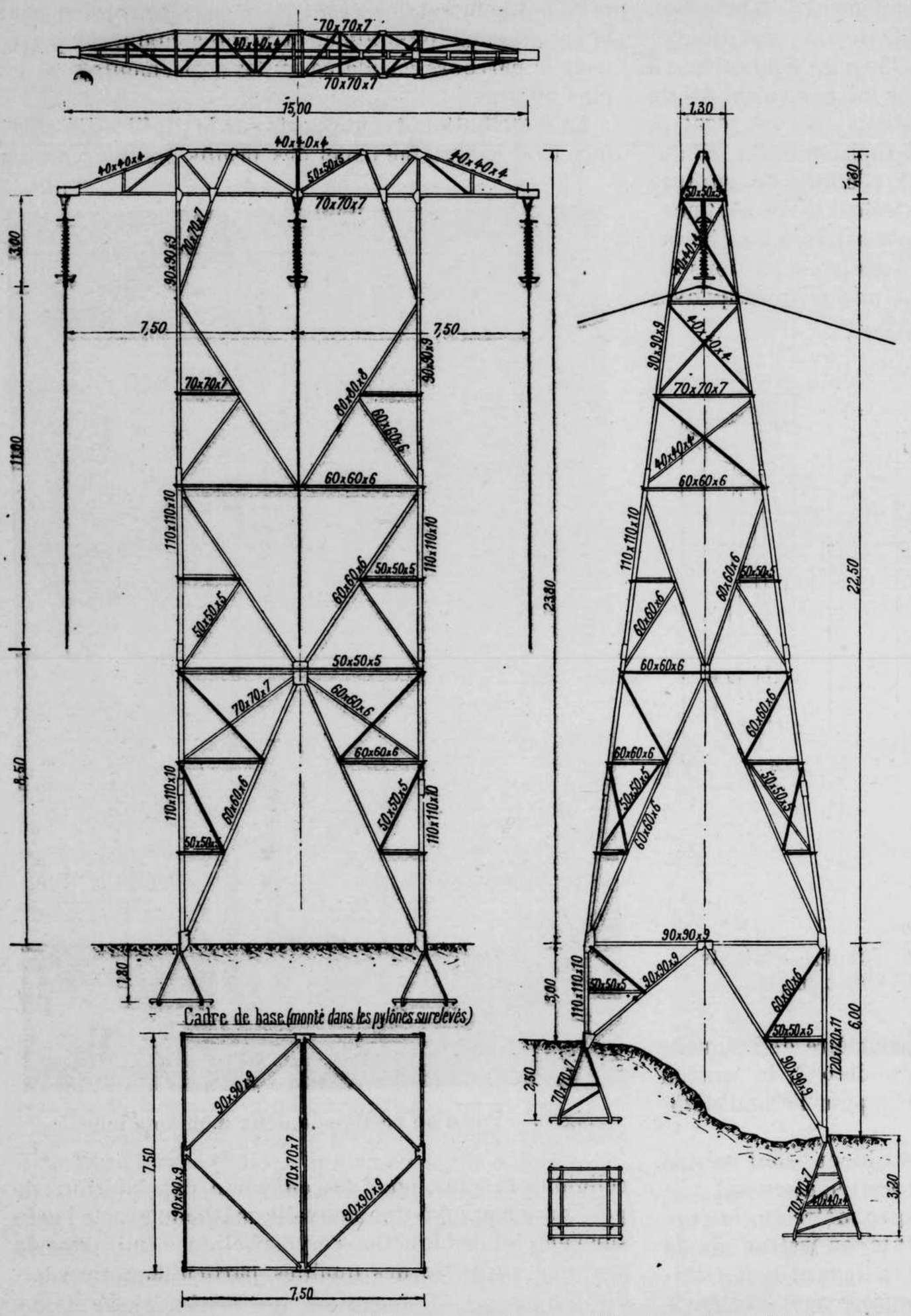


Fig. 7. — **Croquis d'un pylône métallique normal, vu en élévation, de profil et en plan.**

l'aluminium subit des sollicitations plus grandes aux basses températures alors que pour l'acier se produit l'inverse. La question n'est pas encore très bien élucidée et dépend surtout des modalités de toronnage des brins du conducteur et de la température à laquelle s'effectue l'opération. Il résulte des calculs approximatifs que, dans le cas qui nous occupe, on se trouve dans des conditions très satisfaisantes.

2. Cable de terre. — Les opinions émises dans les publications techniques les plus récentes sont unanimes à reconnaître l'efficacité des câbles de terre, lesquels semblent plus avantageux pour les tensions élevées que pour les tensions moyennes.

Une enquête faite auprès des sociétés américaines exploitant les lignes à 220000 v a fourni des réponses généralement favorables à l'emploi des câbles de terre; c'est ainsi que sur une ligne avec laquelle il était absolument impossible d'assurer la continuité de service, le montage d'un câble de terre permit d'obtenir par la suite des résultats satisfaisants.

Ces considérations ont conduit à l'adoption sur la ligne de Cislago de deux câbles de terre supportés aux sommets des pylônes ou des portiques en ciment armé. Ces conducteurs, d'une section de 70 mm², se composent chacun de 19 fils d'acier galvanisé ayant une résistance à la rupture de 120 à 140 kg: mm².

3. Pylônes. — *a*) L'adoption de *portiques en béton centrifugé* sur le parcours en plaine entre le fleuve Oglio et Cislago fut décidée pour deux sortes de raisons : d'une part, au point de vue économique (bien que par rapport aux pylônes métalliques la différence de prix des portiques en béton ne soit pas, à vrai dire, très marquée) et, d'autre part, à cause des facilités d'expropriation, les bases des portiques présentant un empattement très réduit.

L'expérience acquise, d'une part, en Italie depuis six ou sept années et, d'autre part, à l'étranger, depuis plus de dix années, était de nature à apporter tout apaisement relativement à l'emploi de ces pylônes pour lesquels, d'ailleurs, on s'imposa des conditions de calcul comportant des coefficients donnant la plus grande sécurité.

Les figures 3 et 4 représentent un portique normal prévu pour une portée de 260 m avec une hauteur des conducteurs de 8 m au-dessus du sol, pour les conducteurs en aluminium-acier, et de 9.30 m pour les conducteurs en aldrey. Le portique présente une hauteur de 19 m; les montants sont enterrés sur une longueur de

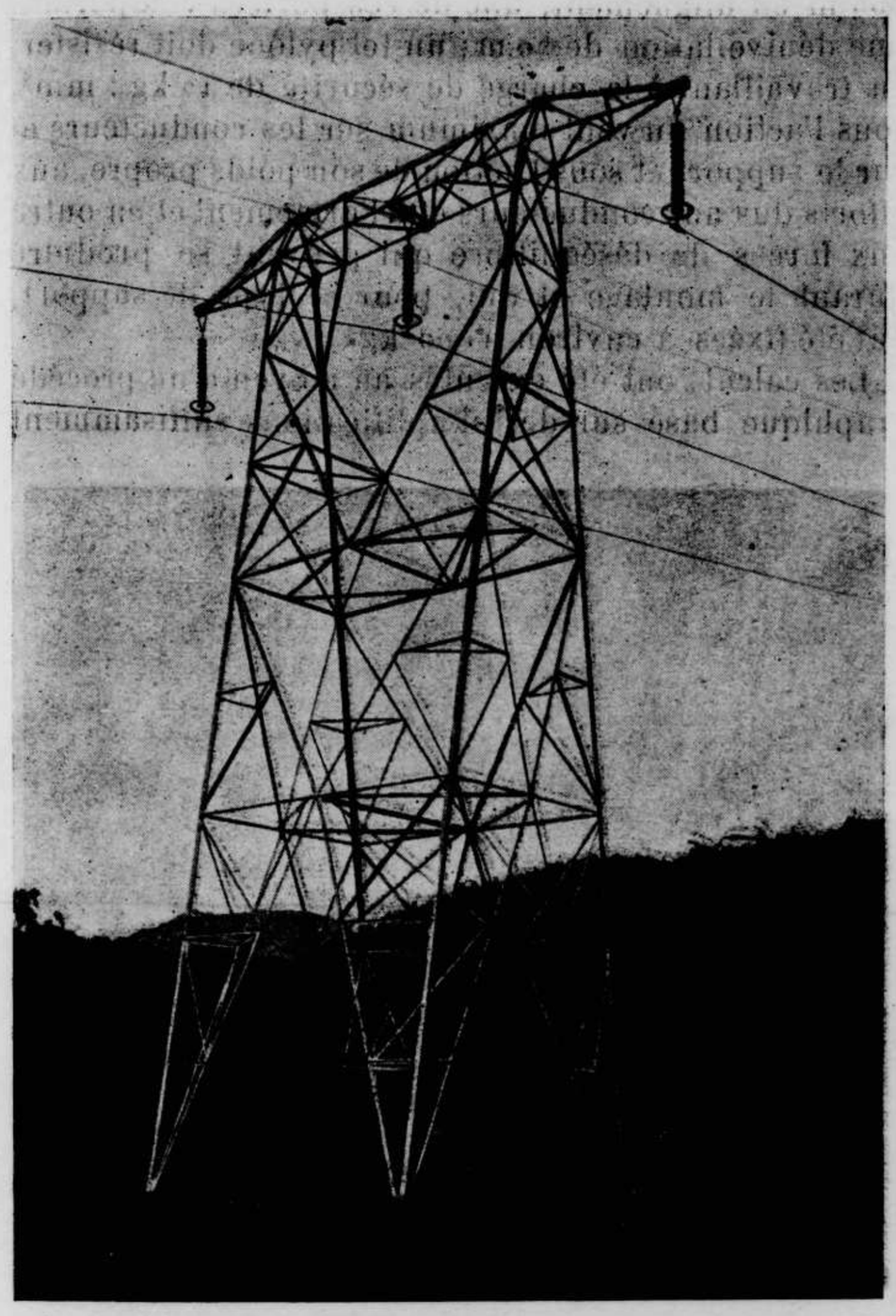


Fig. 8. — Vue d'un pylône métallique normal.

2 m et ont un diamètre de 57 cm à la base et de 30 cm au sommet; la traverse de liaison présente une longueur de 15 m et un diamètre de 33 cm. Ces montants sont calculés pour résister, avec un coefficient de sécurité de 3, à un effort au sommet de 1 250 kg, qui correspond à la moitié de l'effort maximum auquel doit travailler le portique.

Le poids de chaque montant est de 6 000 kg; celui de la traverse seule est de 2 600 kg.

L'acier employé pour constituer les fers des pylônes présente les caractéristiques suivantes :

Résistance à la rupture 85 kg : mm²;

Limite d'élasticité 65 kg : mm².

Allongement sur éprouvette d'une longueur égale à 10 fois le diamètre, 12 à 18 pour 100.

Pour le béton centrifugé, avec un dosage dans la proportion d'un tiers en poids, compte tenu de la triple spirale en fer doux enroulée sur les treillis, on peut admettre une résistance à la compression de 500 kg : cm².

Le calcul des éléments constitutifs simples a été exécuté en se basant rigoureusement sur les prescriptions italiennes et dans lesquelles il est fait abstraction des efforts de torsion dans le béton, suivant la méthode graphique du professeur Guidi.

Le volume des fondations d'un portique normal est d'environ 6,7 m³ de béton par montant pour un coefficient de stabilité de 1,35, sans tenir compte de la poussée des terres.

Parmi les pylônes spéciaux, on doit noter ceux à double montant jumelé (fig. 5 et 6) utilisés surtout pour certaines traversées de lignes de chemin de fer et de communications télégraphiques et téléphoniques.

Sur le parcours d'environ 72 km, il existe 290 portiques de divers types et 15 pylônes métalliques, pour

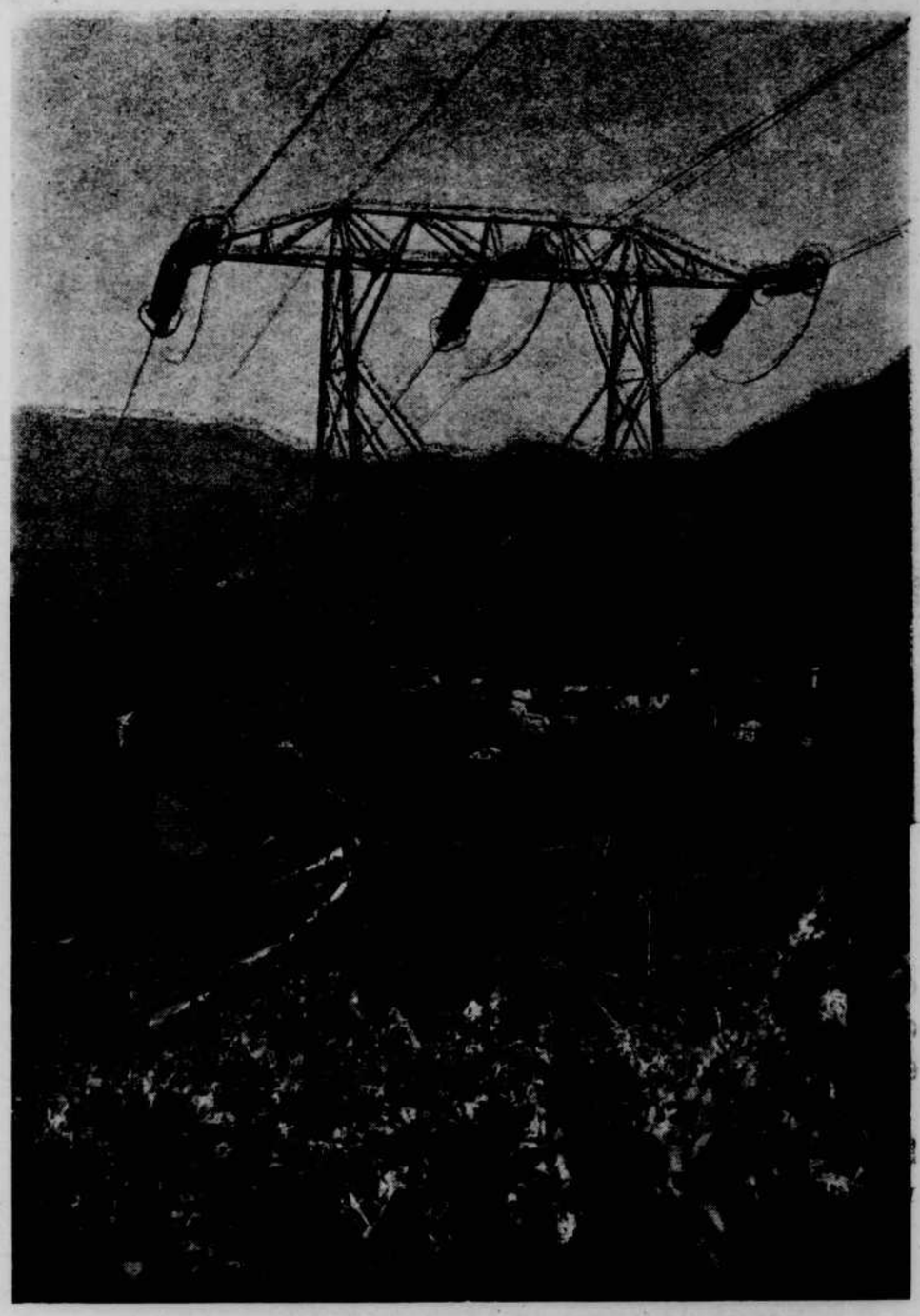


Fig. 9. — Vue d'un pylône d'amarrage.

les traversées de lignes électriques exigeant des supports d'une hauteur supérieure à 26 m.

b) Pour le reste de la ligne on a adopté des *supports métalliques* dont l'étude fut très longue et laborieuse.

Le choix s'est fixé sur un type de pylône à chevalet à quatre pieds divergents avec les conducteurs disposés

en nappe horizontale, la face perpendiculaire à la ligne étant à montants parallèles, l'autre face étant à montants concourants ; de plus, les membrures sont disposées de manière à pouvoir être boulonnées sur place. En raison de la très grande largeur de la base, soit 7,50 m entre les montants d'une même face, il n'a pas été nécessaire

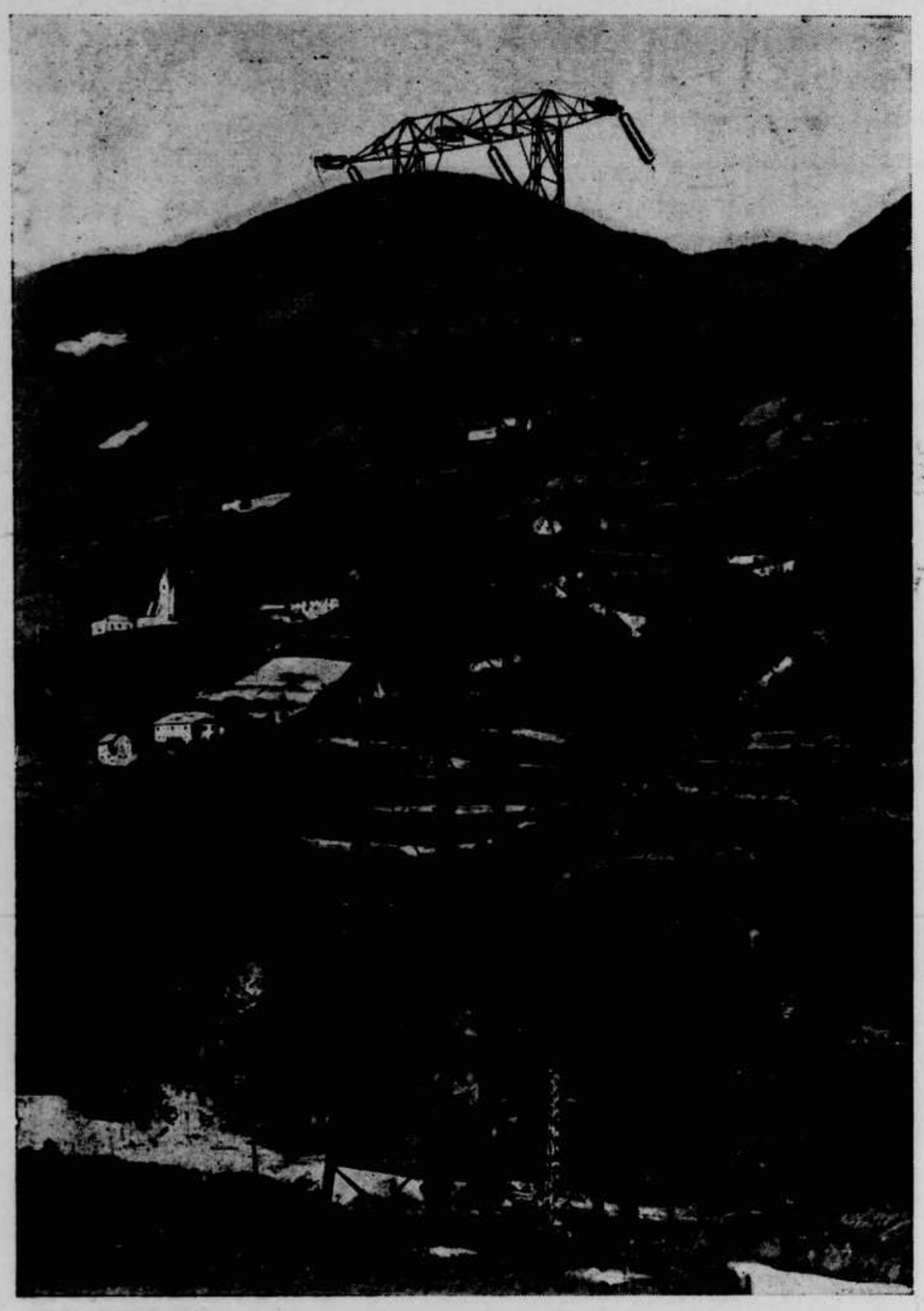


Fig. 10. — Vue d'un pylône en forme de tour.

d'assurer la fixation dans un bloc de béton, la réaction due à la poussée des terres s'exerçant sur les pieds étant suffisante pour assurer la stabilité.

Les calculs furent exécutés pour des pylônes en profilés de fer homogène ayant les caractéristiques suivantes :

Résistance à la rupture 37 à 44 kg : cm² ;

Allongement 20 pour 100 ;

Résilience 9 kg-m : cm² (épreuve Charpy).

Les conditions du cahier des charges furent à ce sujet très rigoureuses.

On avait tout d'abord songé à utiliser de l'acier à haute résistance à la place du fer homogène ; mais l'avantage procuré au point de vue du poids restait limité à un petit nombre de membrures de grande dimension, tandis que pour la partie la plus importante qui travaille à la compression, et dans la limite d'application des formules d'Euler, les dimensions pour les deux matériaux envisagés demeurent les mêmes. Les rapports maxima entre la longueur libre et le rayon de giration des éléments constitutifs ont été fixés à 200 pour les barres principales et à 300 pour les barres secondaires. Ces limites sont atteintes seulement dans un très petit nombre de cas.

Le pylône normal a été calculé pour une portée de 300 m en alignement, une de ces portées comportant une dénivellation de 50 m ; un tel pylône doit résister, en travaillant à la charge de sécurité de 12 kg : mm², sous l'action du vent maximum sur les conducteurs et sur le support et sous l'action de son poids propre, aux efforts dus aux conducteurs et à l'armement et en outre aux forces de déséquilibre qui peuvent se produire durant le montage et qui, pour ce type de support, ont été fixées à environ 1 000 kg.

Les calculs ont été exécutés au moyen d'un procédé graphique basé sur des simplifications suffisamment

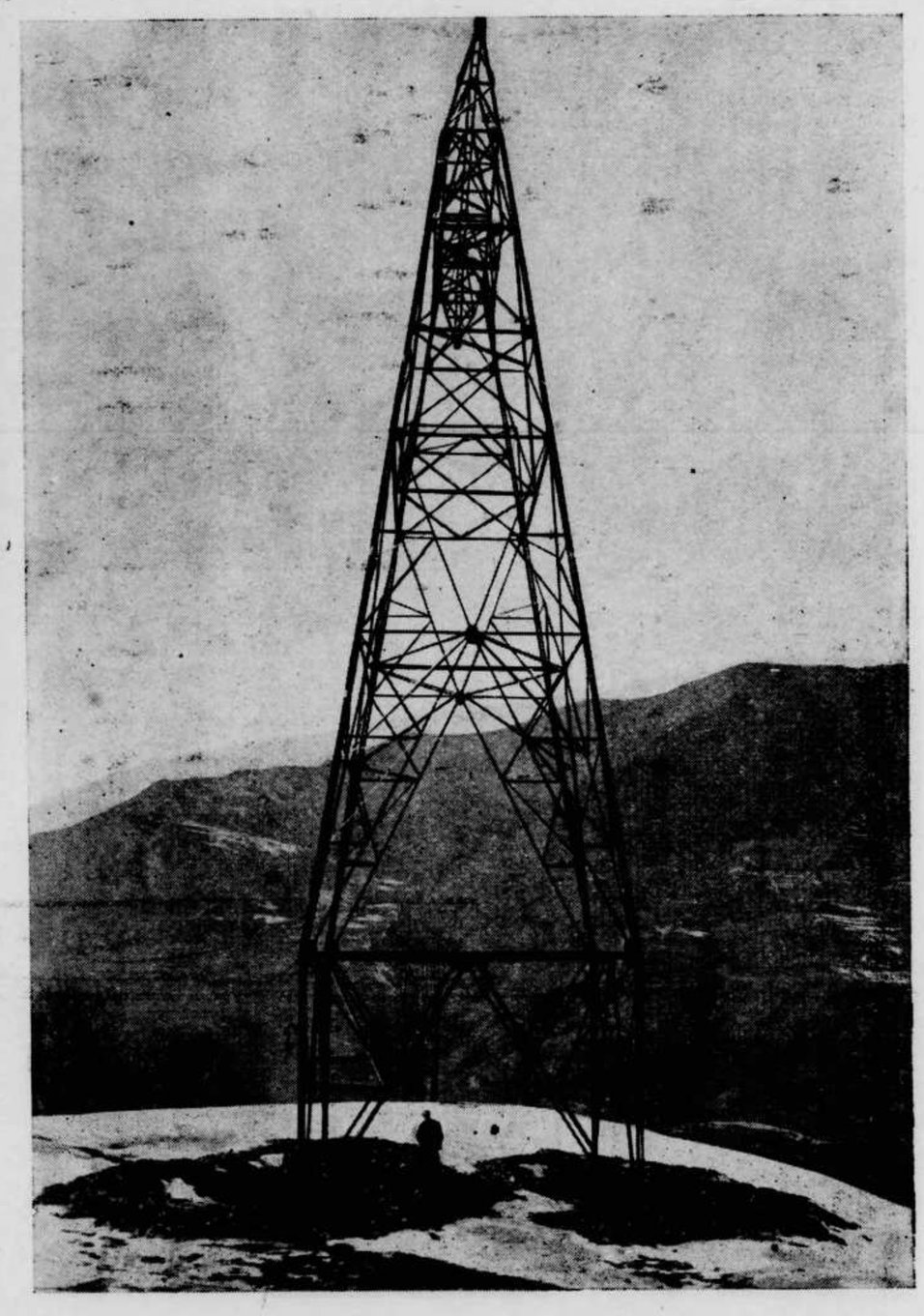


Fig. 11. — Pylône métallique avec dispositif de surélévation.

légitimes pour que la structure soit déterminée statiquement ; précisément on a fait abstraction de certaines membrures travaillant à la compression. Mais on exécuta pour un seul type de pylône le calcul exact sur la base du principe des travaux virtuels et les résultats furent approximativement conformes à ceux

donnés par le calcul graphique. Au moyen de diverses épures de Cremona, suivant les différentes charges agissant sur le pylône, on obtenait la valeur des efforts s'exerçant sur les diverses membrures et, par suite, les dimensions à donner à ces dernières.

En ce qui concerne le calcul de la résistance au flambage on a adopté la formule employée par les Chemins de fer de l'Etat italien.

Le pylône normal, d'une hauteur de 23,80 m, pèse 5 225 kg pour la partie hors de terre ; les quatre pieds constitués par un assemblage de profilés conjugués

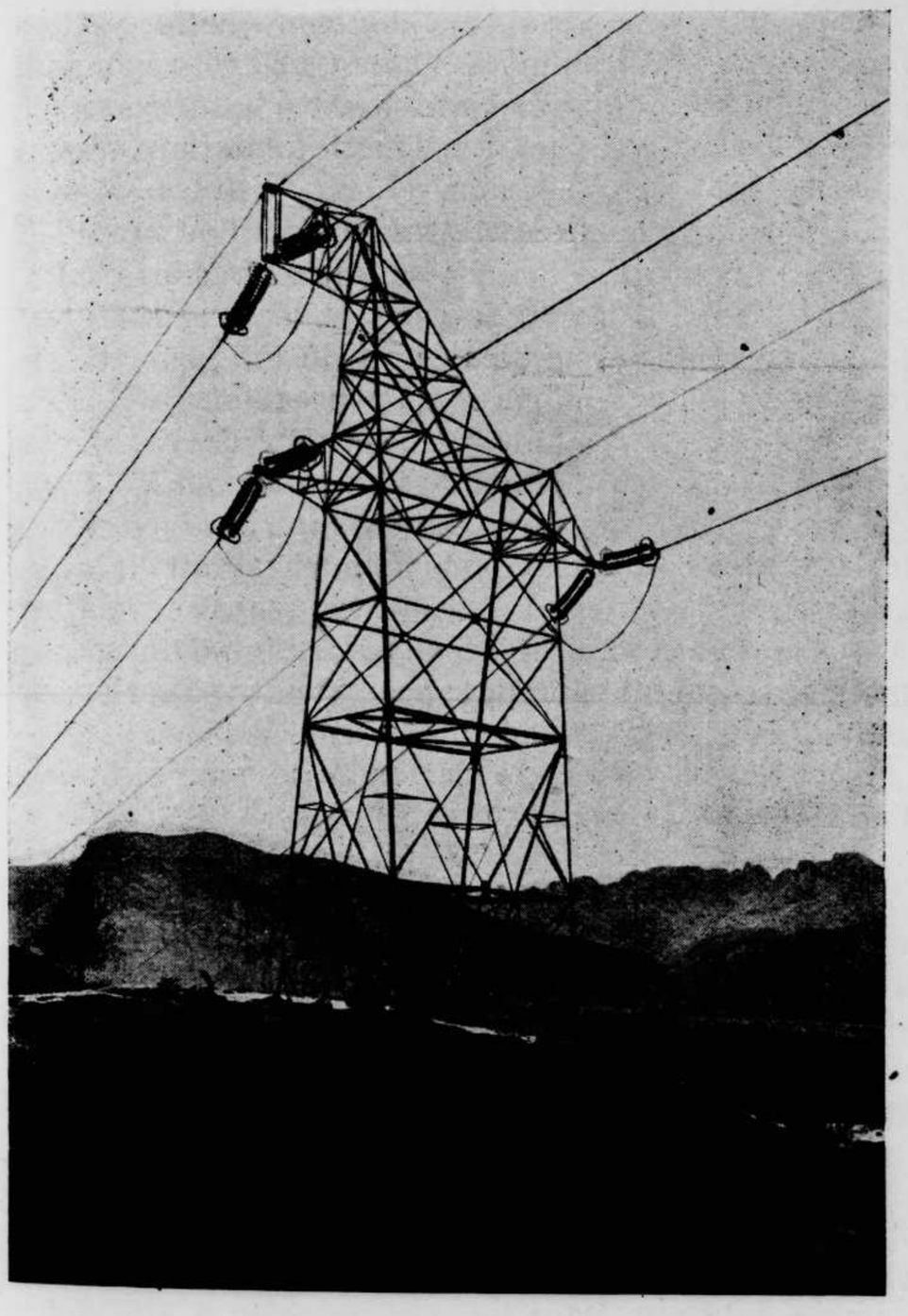


Fig. 12. — Vue d'un pylône pour la rotation des fils.

avec quatre cornières aux montants pèsent chacun 170 kg (fig. 7 et 8).

Les autres types de pylônes sont : les pylônes pour angles de 3°, de 15°, de 35°, ceux d'ancrage (fig. 9) et, enfin, ceux spécialement établis pour les traversées des lignes de chemins de fer et des lignes de transmission d'énergie électrique. Pour les hauteurs supérieures à 30 m on a adopté le type de pylône en forme de tour (fig. 10); un des plus élevés est celui situé à la sortie du village de Cardano, qui atteint 50 m de hauteur avec un poids, pour la partie hors de terre, d'environ 24 000 kg (pylônes pour traversées de lignes de chemins de fer).

Chaque type de pylône est susceptible d'être surélevé d'une hauteur de 3 m et 6 m par interposition à la base d'assemblages triangulés (fig. 11).

Le nombre total des pylônes métalliques, y compris ceux montés dans le parcours en plaine, est de 542 pour un poids total inférieur à 5 000 t. Parmi ces pylônes, seuls 296 sont du type normal et pour un angle de 3° ; les autres sont tous des pylônes d'angle et de types spéciaux présentant les dispositions requises pour les traversées. Nous sommes donc bien loin des conditions favorables dans lesquelles se présentent les lignes américaines où l'on utilise seulement deux types de pylônes et où l'emploi du pylône normal est presque toujours de règle.

La figure 12 représente un pylône métallique spécialement étudié pour la rotation des fils et les figures 13 et 14, un sectionneur sur pylône.

La répartition et le poids des divers types de pylônes sont indiqués dans le tableau I.

TABLEAU I. — *Répartition des pylônes métalliques de la ligne de transmission d'énergie de l'Isarco.*

TYPE	NOMBRE	POIDS MOYEN kg (1)	POIDS TOTAL kg
Pylône normal	162	7 300	1 182 600
Pylône pour angle de 3°	134	9 150	1 226 100
Pylône pour angle de 15°	159	8 900	1 415 100
Pylône pour angle de 35°	33	9 550	315 200
Croisement	10	10 050	100 500
Sectionnement	6	12 000	72 000
Voies ferrées secondaires	2	13 650	27 300
Ancrage et voies ferrées secondaires	18	11 650	209 700
Chemins de fer de l'Etat	8	15 850	126 800
Tours normales	8	16 250	130 000
Tours TT et TT	1	18 700	18 700
Tours FF.SS.	1	31 100	31 100

(1) Y compris les pieds de fondation et les pièces de prolongement.

On a renoncé à appliquer la galvanisation aux pylônes. Ceux-ci sont recouverts d'une couche de minium appliquée en atelier et de deux couches de vernis à l'aluminium appliquées sur place ; d'autre part, les pieds, avant d'être enterrés, sont goudronnés à chaud. Dans les cas spéciaux, les pieds mêmes ont reçu un revêtement de ciment.

Les boulons d'assemblage entre les diverses membrures sont recouverts d'un vernis spécial (iviol).

Les pylônes, comme également les portiques en béton, sont reliés à la terre au moyen de tubes appropriés en fer galvanisé, d'une longueur d'environ 2 m et de 50 mm de diamètre ; ces tubes sont connectés aux ferrures au moyen d'une tresse flexible.

c) Afin de vérifier l'exactitude des calculs et surtout dans le but d'étudier la résistance à la torsion, on a exécuté des essais tant sur les portiques en béton que sur les pylônes métalliques à chevalet.

Un portique en béton a été monté avec des fondations normales en béton. Les efforts de traction et les surcharges ont été pris en considération en augmentant de 50 pour 100 les résultats des calculs. Des poids appropriés furent appliqués pour obtenir l'équivalence de charges verticales ; en outre, les efforts de traction dirigés horizontalement ont été appliqués au moyen de câbles qui, avec l'interposition d'un dynamomètre étaient tendus au moyen de palans d'appui fixés à terre à des distances appropirées.

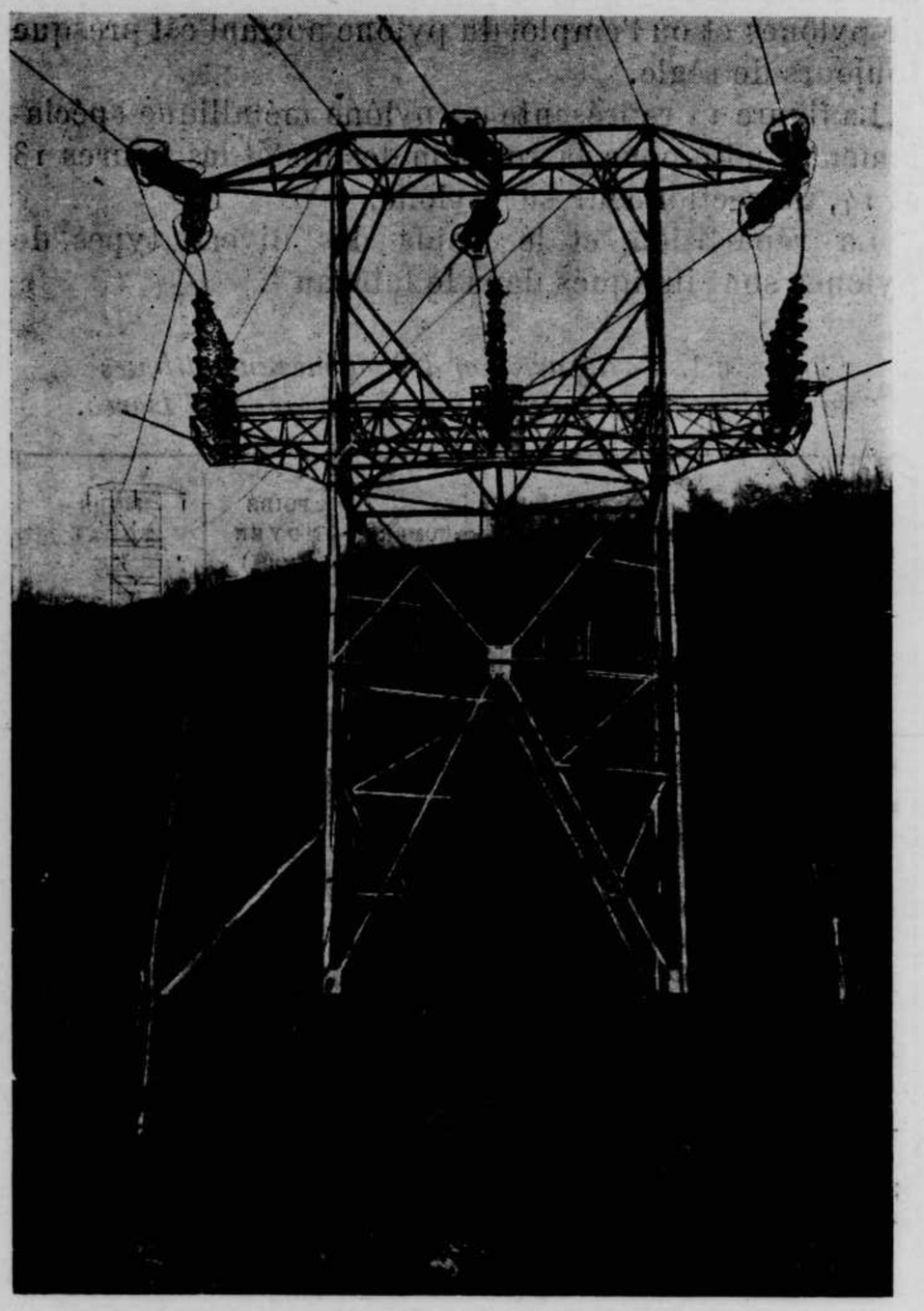


Fig. 13. — Vue d'un sectionnement sur pylône.

Les résultats furent satisfaisants, notamment lors d'un sévère essai de rupture d'un conducteur d'extrémité ; des déplacements de nature élastique de 50 cm ont été observés à l'extrémité de la traverse sans ébranlement des fondations.

En ce qui concerne les supports métalliques, l'essai a été exécuté sur un pylône à chevalet, du type normal, dont la longueur avait été augmentée de 6 m ; ce pylône fut érigé sur un terrain attenant à l'atelier de construction et pourvu de pieds de fondations normaux.

Pour les renvois des câbles qui, fixés à divers nœuds de l'ouvrage, devaient représenter les actions horizontales, soit dans le sens de la ligne, soit dans le sens normal à celle-ci, on a adopté des charpentes en bois distantes du pylône respectivement de 45 et de 35 m.

Pour la mesure des déplacements à l'extrémité du pylône on appliqua à la traverse des statifs centimétriques verticaux et horizontaux visés au moyen de deux tachéomètres. Les déplacements des pieds de fondation ont été contrôlés par des croix de fils métalliques placées à la hauteur de l'assemblage reliant les pieds avec les montants. Dans les premiers essais on a utilisé sur diverses ferrures des extensimètres ; néanmoins, ces derniers appareils ne donnèrent pas de résultats satisfaisants.

Les résultats des essais ont confirmé que le système de calcul adopté conduit à une structure répondant pleinement au but ; le comportement à la torsion a été excellent et, d'autre part, les pieds de fondations se sont montrés stables et résistants.

Durant une des épreuves, tandis que l'on procédait au réglage du tirage horizontal obtenu par les câbles, la partie supérieure du support céda ; on put alors constater qu'un tel accident était dû uniquement à la rupture de quatre boulons de 0,5 pouce reliant les treillis aux montants. Par suite d'une erreur de calcul, on avait laissé un seul boulon de liaison au lieu de deux, comme il était nécessaire pour chacune des faces ; dans les conditions de l'essai, ce boulon travaillait à plus de 40 kg : mm² et devait, par conséquent, se rompre. Après la remise en état avec l'adjonction d'un second boulon, l'essai fut repris et aucun incident ultérieur ne survint.

Nous avons cité cette particularité pour illustrer l'utilité des essais pratiques.

V. Matériel de ligne. — 1. Isolateurs. — Relativement aux chaînes d'isolateurs, on a adopté un type d'élément construit en Italie et qui présente des caractéristiques électriques et mécaniques satisfaisantes. Le diamètre de cet isolateur est de 250 mm et sa hauteur est de 125 mm.

Pour la suspension en parcours normal (fig. 15) on a employé des chaînes de 15 éléments avec anneaux de protection de telle sorte que la tension d'amorçage sous pluie est d'environ 520 000 v, ce qui est ainsi largement suffisant. Dans les amarrages on a utilisé des chaînes de 17 éléments.

Sur un parcours de quelques kilomètres au commencement et à la fin de la ligne, le nombre des isolateurs par chaîne a été réduit afin de créer des conditions favorables relativement à l'isolement des machines.

La résistance mécanique garantie de l'isolateur est de 4 500 kg ; mais à l'essai, avec les dispositions constructives les plus récentes, on n'est jamais arrivé à la rupture avant 5 500 kg de charge. Néanmoins, pour tenir compte des mauvaises conditions dans lesquelles travaillent les chaînes d'amarrage et également de la simultanéité des sollicitations électriques et mécaniques, on a adopté comme limite de travail, dans les conditions les plus défavorables prévues au calcul (2 kilogrammes de neige par mètre de longueur), le chiffre de 1 300 kg.

Il résulta de ces considérations que la presque totalité des amarrages, très nombreux en raison des prescriptions pour les croisements, fut exécutée avec une triple chaîne d'isolateurs (fig. 16).

A ce sujet, nous approuvons encore une fois l'opinion, et il n'est plus besoin de le démontrer, selon laquelle la plus grande sécurité relativement à chaque effet et une économie notable de dépenses s'obtiennent en montant dans les croisements des chaînes de suspension (éventuellement deux chaînes en parallèle) au lieu des chaînes d'ancrage.

Bien entendu, il est nécessaire, dans ce cas, de déterminer la valeur de l'abaissement de la chaînette par l'effet d'une rupture éventuelle d'un conducteur dans une portée adjacente. Il est facile de calculer les nouvelles conditions de régime au moyen de procédés analytiques presque élémentaires dans lesquels on suppose nul le glissement du conducteur dans les organes de fixation; les conditions transitoires sont, par contre, difficilement accessibles au calcul, mais peuvent être déterminées au moyen d'un dispositif cinématographique.

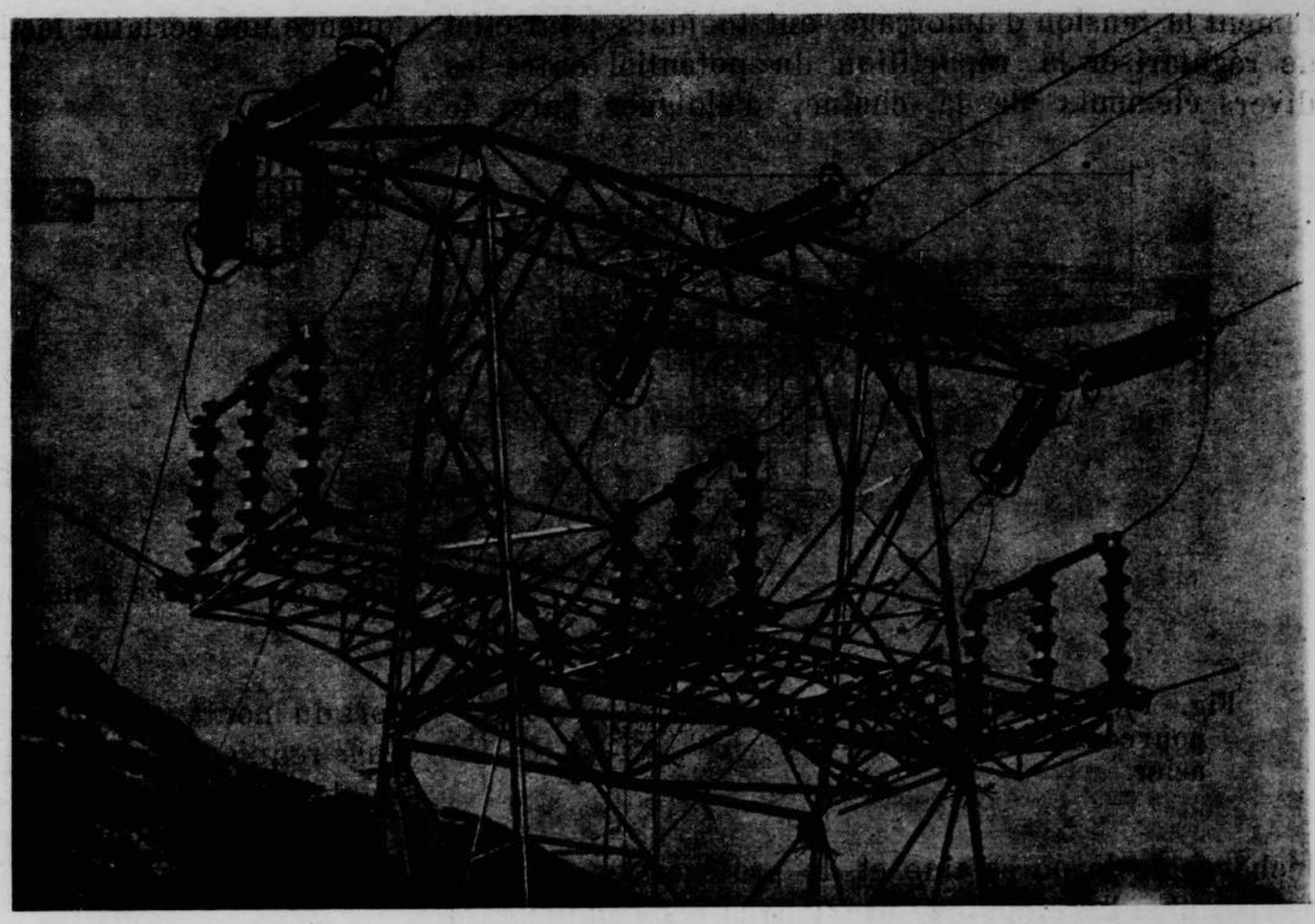


Fig. 14. — Vue d'un sectionneur.

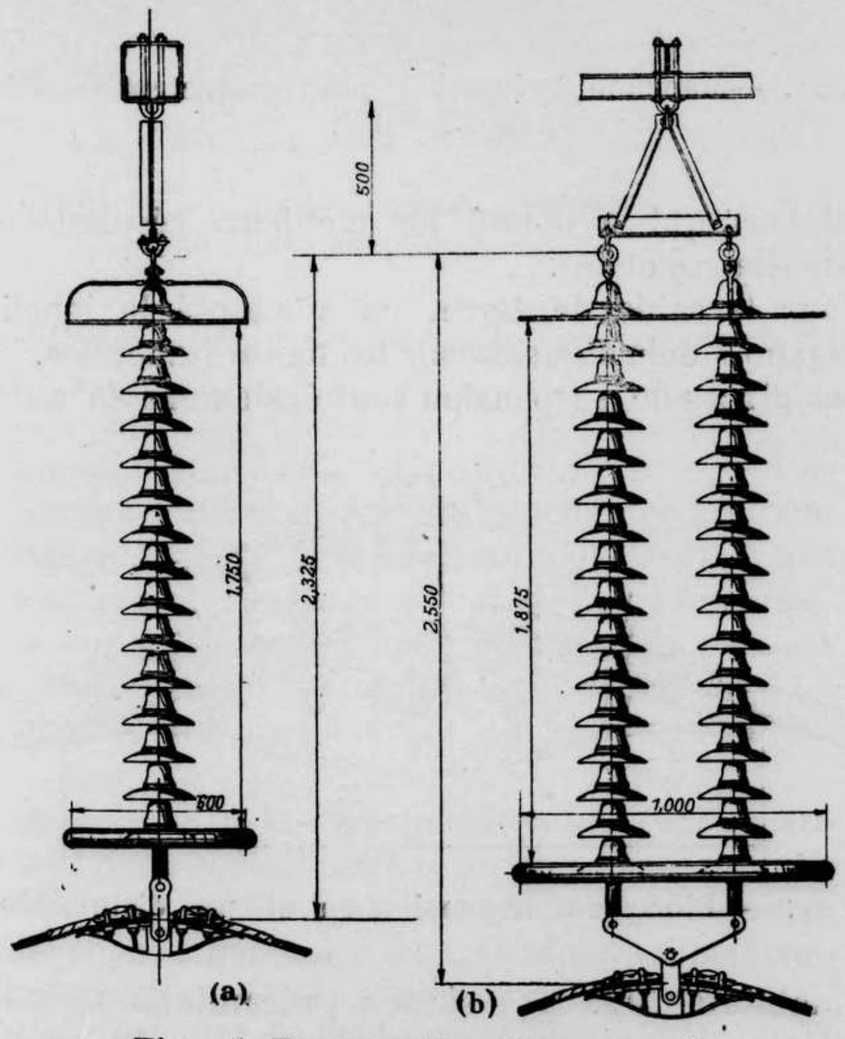


Fig. 15. Traverse de pylône normal avec chaînes de suspension : a, simple; b, double.

Des essais que nous avons exécutés avec de telles dispositions sur une ligne à 135 000 v, il résulta que l'augmentation instantanée des flèches peut s'évaluer à environ 135 à 140 pour 100 de la valeur correspondant à l'état stable.

2. Organes de fixation des conducteurs aux isolateurs. — En ce qui concerne les organes d'attache, nous dirons avant tout qu'on a décidé l'adoption d'anneaux de garde, soit à la partie supérieure, soit à la partie inférieure des chaînes d'isolateurs; les anneaux de garde supérieurs sont en rondins de fer, de 15 mm de diamètre, et ceux inférieurs, en tubes de fer de 60 mm × 54 mm. Le diamètre de l'anneau pour la suspension simple est de 60 cm; les anneaux sont fixés

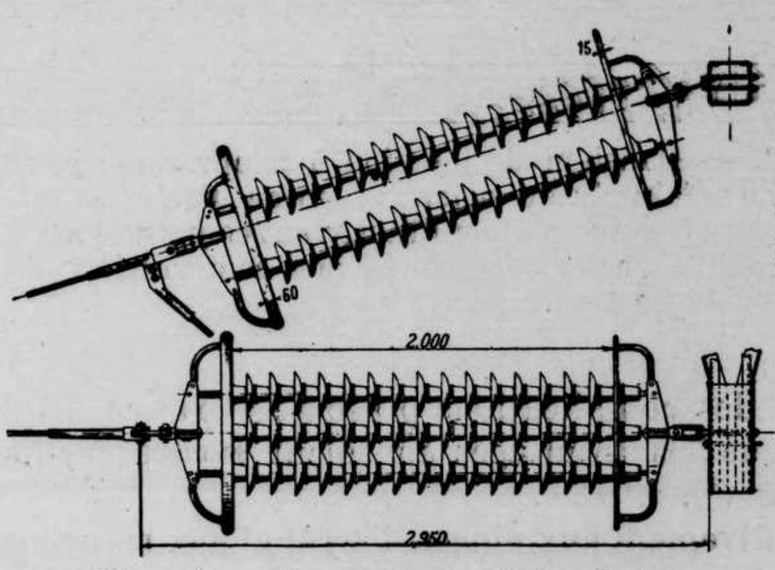


Fig. 16. — Amarrage à triple chaîne pour les conducteurs d'aluminium-acier.

à la chaîne au moyen de pièces étudiées opportunément afin d'éviter les balancements.

Ainsi qu'on le sait, les anneaux, s'ils réduisent légèrement la tension d'amorçage, ont toujours pour effet de régulariser la répartition du potentiel entre les divers éléments de la chaîne, d'éloigner l'arc de

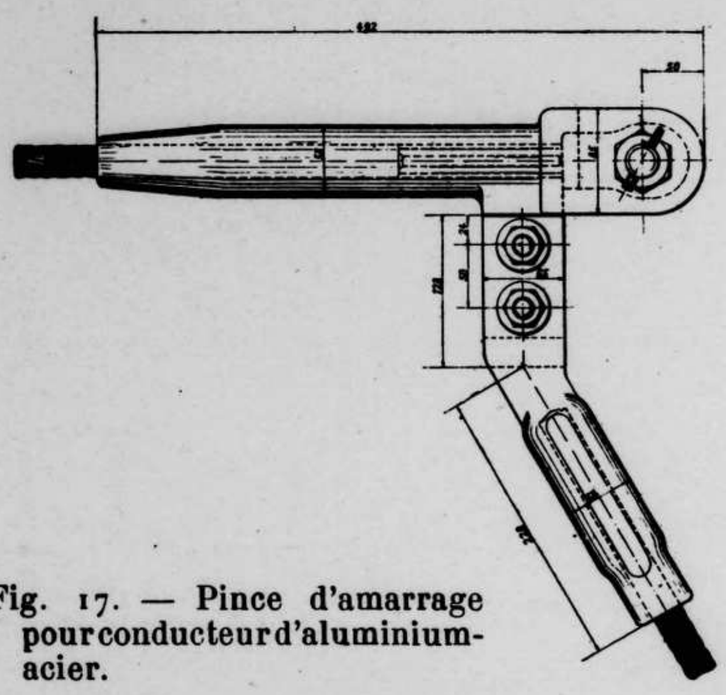


Fig. 17. — Pince d'amarrage pour conducteur d'aluminium-acier.

décharge de la porcelaine et de protéger les conducteurs contre les effets des arcs; avec les conducteurs d'aluminium, cette dernière considération acquiert une importance très grande.

On a renoncé à l'utilisation d'un anneau intermédiaire préconisé par quelques techniciens allemands en

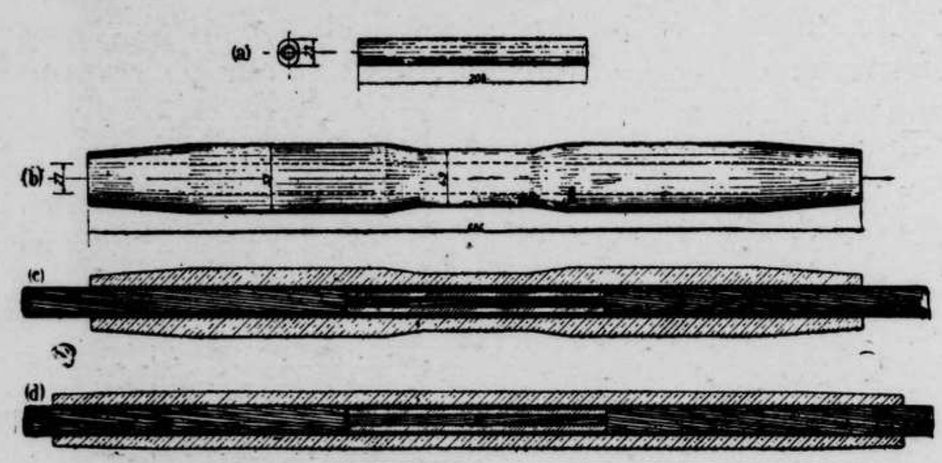


Fig. 18. — Manchon de jonction à compression pour conducteur d'aluminium-acier : a, gaine d'acier avant compression; b, gaine d'aluminium avant compression; c, joint avec gaine d'acier comprimé avant compression; d, joint après compression.

raison des complications présentées par ce dispositif sans que les avantages en soient encore réellement prouvés (1).

Relativement aux pinces d'arrêt et aux manchons de jonction, on a adopté deux types de pinces différents. Pour l'aluminium-acier la pince est à compression (fig. 17 et 18), très employée dans les plus récentes lignes américaines elle a le grand avantage de la légèreté (relativement aux effets de vibration des conducteurs) et permet, pour les jonctions, d'apporter des variations minima dans le diamètre des tresses avec, comme conséquence, une certaine facilité de passage dans les poulies

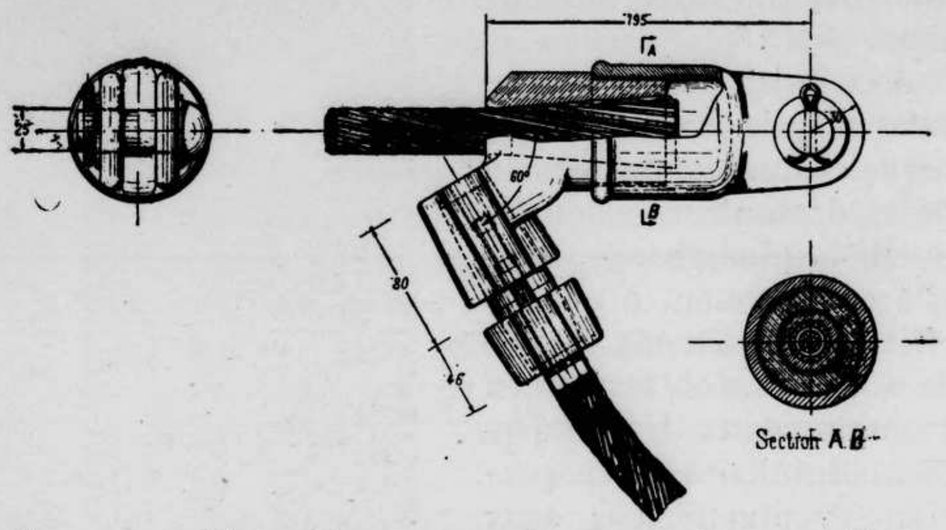


Fig. 19. — Pince d'amarrage pour conducteur en aldrey. de 380 mm².

lors du montage de la ligne. Ce type de dispositif d'amarrage requiert l'usage de presses portatives susceptibles de développer une pression de 100 atmosphères.

Pour les conducteurs en aldrey, on a adopté un type de manchon de jonction à cônes concentriques (brevet

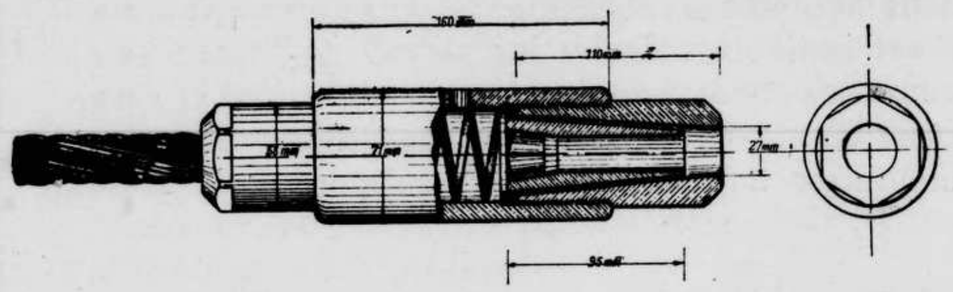


Fig. 20. — Manchon de jonction pour conducteur en aldrey de 380 mm².

Vontobel) qui a donné les meilleurs résultats aux essais (fig. 19 et 20).

Pour le câble de terre, on a adopté la jonction « Ragano » déjà en usage sur les lignes italiennes.

Les pinces de suspension sont également en alliage

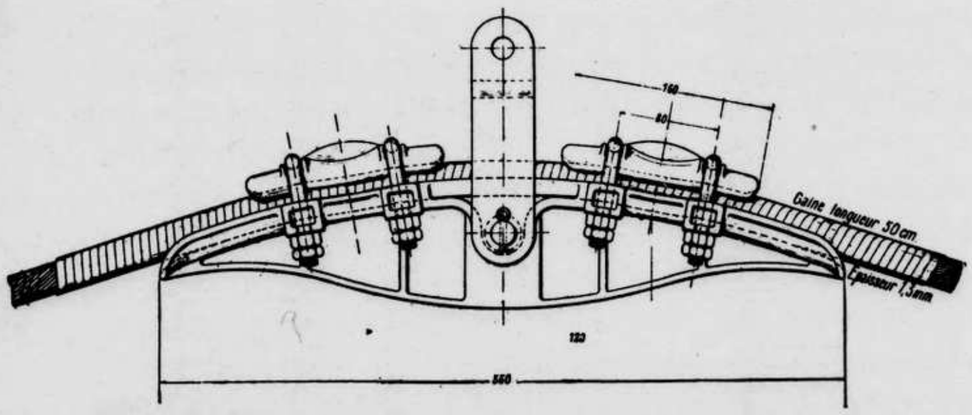


Fig. 21. — Pince de suspension en alliage d'aluminium.

d'aluminium (fig. 21) et des précautions spéciales ont été prises relativement à l'ampleur du siège et à la douceur du rayon de courbure; le glissement du conducteur, qui est fixé avec l'interposition d'un manchon d'aluminium de 1,5 mm d'épaisseur débordant d'environ 50 mm de part et d'autre du dispositif de

(1) Pour tous les détails relatifs aux caractéristiques électriques de la chaîne avec ou sans anneaux de garde et, en général, pour le calcul électrique de la ligne, voir C. Palestrino; Studio e calcoli elettrici della linea a 220 kv Cardano-Cislago. *Energia elettrica*, février 1930.

fixation, a lieu seulement pour un effort de traction supérieur à 2 000 kg.

Les autres organes de fixation sont constitués par des matériaux emboutis ou forgés : une grande importance a été attachée aux palonniers des chaînes d'amarrage qui, d'après les prescriptions, doivent résister à un effort de 15 000 kg.

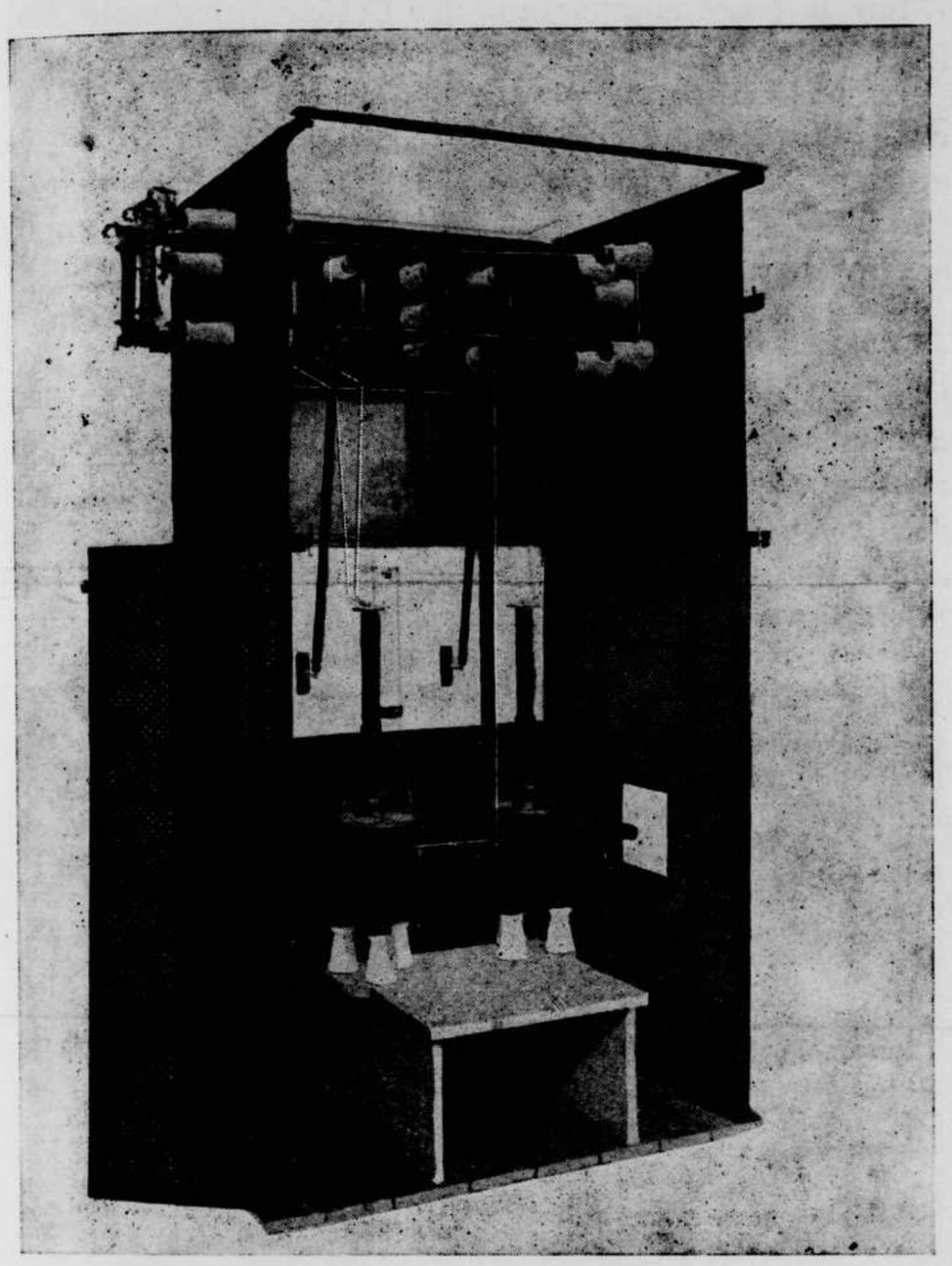


Fig. 22. — Appareillage de protection des lignes téléphoniques.

VI. **Communications téléphoniques.** — Une ligne téléphonique établie sur des poteaux en bois suit le parcours de la ligne de transmission d'énergie, à une distance moyenne d'environ 300 m de cette dernière. Toutefois, sur le parcours d'Oglio à Cislago, les poteaux utilisés sont en béton centrifugé. Pour les portées exceptionnelles on a utilisé des pylônes métalliques Batès.

Les conducteurs de la ligne téléphonique sont constitués par un câble bimétallique à 11 fils dont l'âme centrale est formée de cuivre électrolytique de 3,2 mm entourée de 10 fils en acier galvanisé de 1,35 mm de diamètre : la charge de rupture totale atteint environ 1 900 kg.

Les isolateurs sont du type normal à 10 000 v.

A chaque kilomètre est pratiquée une transposition.

Deux circuits ont été prévus, l'un direct entre Cardano et Cislago et un autre, omnibus, reliant les divers postes de surveillance de la ligne.

Les appareils sont naturellement d'un type protégé contre les effets de la haute tension (fig. 22); les transformateurs ont été essayés à une tension de 120 000 v pendant une minute.

Il existe encore deux installations de communications par ondes guidées établies aux deux extrémités de la ligne et dont le fonctionnement donne entière satisfaction.

Tous les points principaux de la ligne sont également reliés aux réseaux publics des téléphones.

VII. **Aperçu relatif à l'exécution des travaux.** — L'étude du tracé et les relevés y relatifs furent exécutés directement par les soins de la Società idroelettrica Piemonte qui, d'ailleurs, se chargea de régler toutes les questions d'ordre administratif et les tractations relatives aux expropriations et indemnités et

Fig. 23. — Montage d'un pylône sur l'Adige.

coopéra à une partie des travaux de montage des conducteurs.

Les travaux de transport et de levage des pylônes, ainsi que le reste des travaux de montage des conducteurs pour la partie de la ligne comprenant des supports métalliques furent confiés à quatre entreprises; d'autre part, pour les tracés en plaine le constructeur

des portiques en béton fut chargé du montage complet de la ligne.

Les matériaux des pylônes ont été assujettis à un contrôle sévère, partie par partie, dans le but de vérifier la conformité de leurs caractéristiques aux chiffres imposés par les cahiers des charges.

Une attention particulière fut dévolue à la vérification de la résilience et, afin de contrô'er l'exactitude

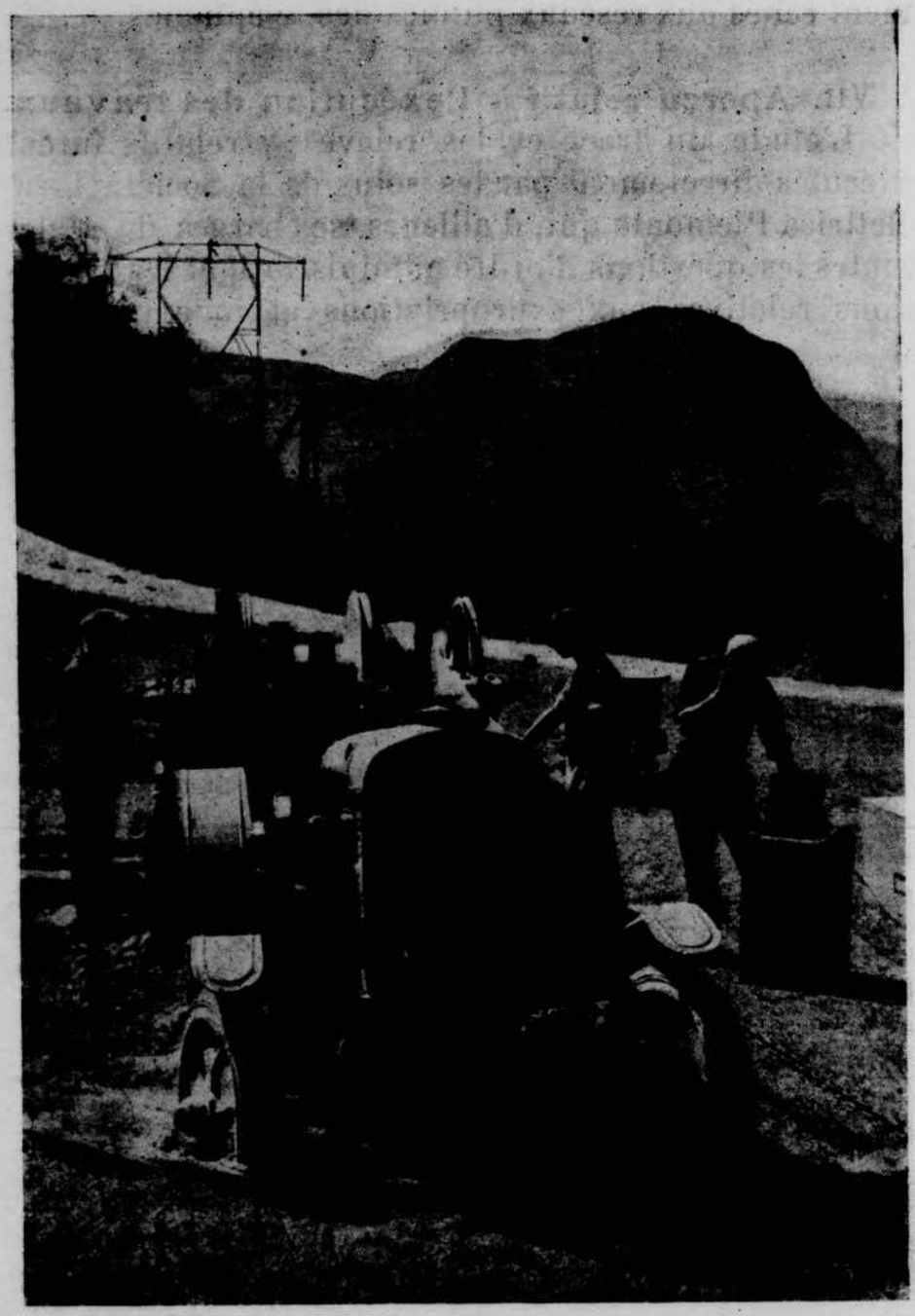


Fig. 24. — Treuil de tirage des conducteurs.

du travail des divers types de supports, on a procédé au montage en atelier de quelques-uns d'entre eux avec des ferrures prises au hasard.

Les portiques en béton ont été également vérifiés en usine et à pied d'œuvre avant et après leur levage.

Les essais sur les conducteurs, les isolateurs et les organes d'attache furent particulièrement sévères. On ne saura jamais assez répéter que la sévérité dans le contrôle est une condition essentielle au succès dans l'exécution d'un travail.

Les travaux de levage des poteaux et des pylônes métalliques commencèrent pratiquement au mois de mars 1929 et se terminèrent au mois de novembre de la même année.

La figure 23 représente un pylône en montage sur une rive de l'Adige. Dans la partie comportant des pylônes métalliques, on réalisa avec une équipe d'environ 20 à 22 ouvriers le levage de deux supports en une durée de trois journées. Toutefois, dans les derniers temps, le personnel ayant acquis suffisamment d'adresse, on arriva à dresser un support par jour.

Sur le tracé comportant des pylônes en ciment, on peut évaluer l'avancement à un portique par jour.

La pose des conducteurs a été exécutée sur la presque totalité de la ligne par des moyens mécaniques en apportant un soin spécial pour éviter que les torons ne viennent frotter sur le sol. (Les lignes de terre ont été posées à la main.)

Dans ce but, la ligne a été convenablement subdivisée en tronçons d'une longueur minimum de 5 km toujours comprise entre ancrages et ayant les extrémités, partout où il était possible, à proximité des routes, afin de permettre le transport facile à pied d'œuvre des conducteurs enroulés sur tourets (la longueur moyenne de conducteur enroulé sur chaque bobine était de 1 200 m), des appareils de levage, etc.

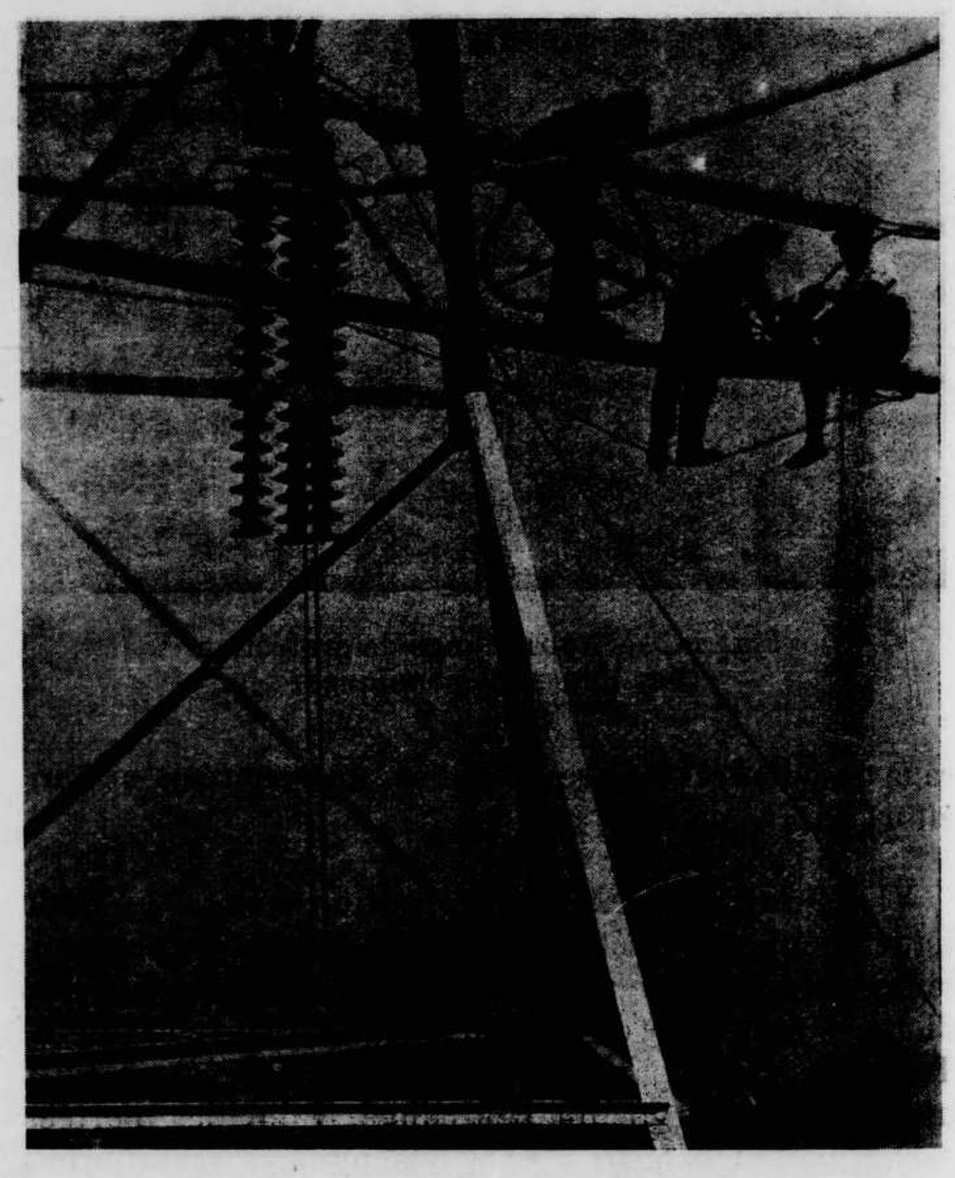


Fig. 25. — Préparation d'un amarrage.

Les opérations de pose des conducteurs ont été exécutées comme suit : entre les extrémités du tronçon, on tendait à la main un câble d'acier (fil de tirage) de 9,5 mm de diamètre et ensuite on le hissait sur les pylônes intermédiaires au moyen de petits palans. On l'enfilait alors sur des poulies en duraluminium (en partie aussi en bois) suspendues aux supports eux-mêmes par des fils métalliques de même longueur que les chaînes d'isolateurs dans le cas des suspen-

sions et de 0,50 m dans le cas d'amarrages intermédiaires.

A une extrémité du fil de tirage était fixé le conducteur par l'intermédiaire d'une attache en fil d'acier qui

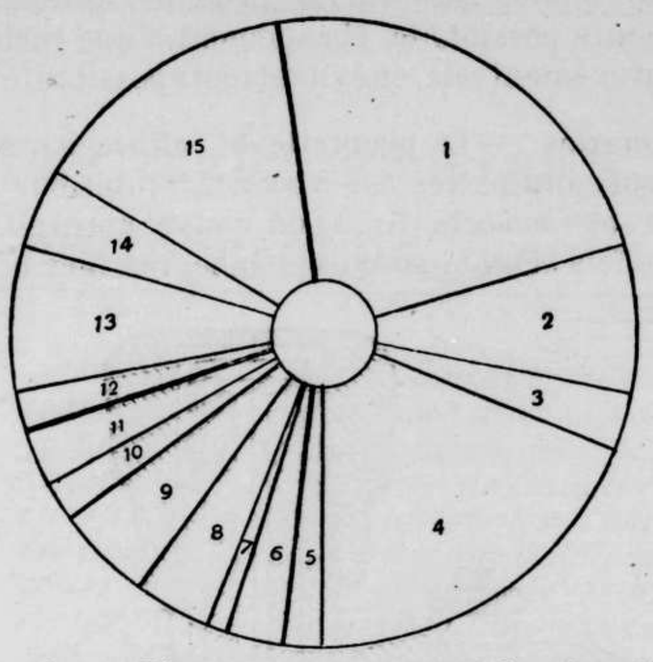


Fig. 26. — Diagramme montrant la répartition du coût de la ligne.

ne permettait pas le glissement pour des efforts de tirage inférieurs à 4 000 kg.

L'autre extrémité du câble de tirage était attachée à un treuil (fig.24) et le conducteur était ainsi remorqué, en se déroulant du touret disposé à l'extrémité opposée à la précédente, sans prendre contact avec le sol ; le touret était placé sur un chevalet dévidoir muni d'un frein approprié.

Les treuils remorqués et actionnés par des tracteurs à moteur à essence présentaient les caractéristiques suivantes :

Capacité d'enroulement du tambour 5 000 mètres de fil d'acier de 9,5 mm de diamètre sur 27 couches ;

Effort de traction sur la couche externe, 2 000 kg ;

Vitesse de marche, 6, 12, 24 et 48 m : mn calculée sur le tambour nu.

Pour la confection des joints entre les divers tronçons de conducteurs on devait :

a) Arrêter en temps utile le treuil (au moyen d'un signal téléphonique) avant que le conducteur ne soit complètement déroulé du touret ;

b) Fixer une attache provisoire permettant de le maintenir au moyen d'un palan ;

c) Réunir les deux extrémités (de tête et de queue) des deux bobines ;

d) Exécuter le joint.

En outre, pour la confection des amarrages on procédait conformément aux modes suivants :

a) Amarrage provisoire du conducteur en correspondance du support précédent ;

b) Amarrage à terre du conducteur de la dernière portée ;

1 Supports en fer et en ciment	23	6. Fouilles	3	12. Sectionnements	2
2. Isolateurs	7,5	7. Fondations	1	13. Ligne téléphonique	7,5
3 Organes de jonction et d'attache	3	8. Montage des pylônes métalliques	4	14. Expropriations et indemnités	4
4. Conducteurs	19	9. Armement et pose	5	15 Frais généraux et intérêts	14
5. Ligne de terre	2	10. Revêtement des pylônes	2		
	54,5 pour 100	11. Transport	3		27,5 pour 10
			18 pour 100		

c) Joint du conducteur à l'attache d'amarrage ;

d) Jonction de l'attache d'amarrage à la chaîne d'isolateurs ;

e) Confection et jonction de la boucle entre conducteurs.

Dans beaucoup de cas toutefois, la confection du joint d'amarrage a été exécutée directement sur le pylône en appuyant les presses (pour l'aluminium-acier) sur des poutres robustes en bois, ce qui a procuré une économie considérable de temps (fig. 25).

Le réglage du tirage (mesuré au moyen de la flèche) a été exécuté toutes les trois ou quatre portées en saisissant le conducteur par des mâchoires et des palans appropriés.

Les travaux de montage des conducteurs commencèrent pratiquement en juin et furent terminés en novembre 1929 nécessitant de nombreuses équipes ; l'avancement moyen journalier, par équipe de 60 à 70 ouvriers, fut de 0,4 km en montagne et de 0,7 km en plaine.

Les travaux pour la construction de la ligne (à l'exclusion de la fabrication des pylônes, des conducteurs et isolateurs) durèrent, ainsi qu'il l'a déjà été dit, dix mois et requirent l'emploi d'un effectif moyen de 400 personnes par jour atteignant à un certain moment environ 800 ouvriers.

Le coût de la ligne a atteint environ 185 000 lire au kilomètre et se répartit comme l'indique le diagramme de la figure 26 proportionnellement à l'aire des secteurs numérotés. Le détail de cette répartition est indiqué ci-dessus.

Traduit de l'italien par
L. VELLARD.

A. DALLA VERDE,
Directeur central du Groupe Società idroelettrica Piemonte (S. I. P.).

Revues, analyses et informations

La ventilation d'alternateurs à pôles saillants (1)

1. Dispositif et méthode d'essais. — Les recherches expérimentales dont il est question dans le présent article ont été exécutées sur un modèle dont on pouvait facilement modifier la structure. A cet effet, ce modèle, établi en bois dur, comportait de nombreux conduits de ventilation, les dents et encoches du stator ayant les largeurs normales. Pour le rotor, deux modèles étaient utilisés, l'un à quatre pôles, l'autre à douze pôles; leurs extrémités étaient différentes pour chaque modèle de rotor.

Les ouvertures du stator étaient soigneusement fermées par deux coquilles se réunissant en un conduit de section rectangulaire, en bois, comportant un compteur de volume et terminé par un ventilateur entraîné par un moteur séparé.

2. Interprétation des résultats. — L'étude de l'influence de la vitesse sur la ventilation a permis de constater que les courbes relevées à différentes vitesses peuvent être réduites à une seule en prenant soin de réduire les pressions proportionnellement à la vitesse et les volumes proportionnellement au carré de cette vitesse.

En ce qui concerne l'influence sur la ventilation de la longueur du rotor, on est arrivé à la conclusion que pour une pression et une vitesse données, l'erreur introduite, en considérant une machine de courte longueur comme équivalente à une machine longue est faible.

L'auteur a ensuite recherché l'influence des trous pratiqués dans l'armature en vue d'apporter une quantité d'air suffisante pour le refroidissement des têtes de bobines. Des essais effectués avec ces ouvertures successivement ouvertes et fermées ont montré que le passage de la courbe correspondant au premier cas à celle qui correspond au second cas peut se faire en ajoutant au volume, dans le second cas, le produit de la surface des trous par la racine carrée de la pression, et par le coefficient 0,85 et en ajoutant au résultat une certaine constante.

C'est, en dernier lieu, l'influence sur la ventilation de la grandeur des surfaces entre pôles adjacents qui a été étudiée. Les expériences étaient conduites en fixant des prolongements sur les côtés des pôles. La surface interpolaire, qui était d'abord de 42,4 square inches (275 cm²), fut ainsi réduite à 30,3 square inches (195 cm²). L'auteur a trouvé qu'au point de vue de la ventilation cette modification revenait à allonger la machine dans le sens de l'axe. Par suite, le nombre d'ouvertures de ventilation nécessaires, dans le cas où la surface est réduite, est de 42,2/30,3, soit 1,4 fois celui des ouvertures qui suffisent pour un espacement normal. — B. E.

Nouveaux dispositifs de coupe-circuit infraudable à éléments fusibles interchangeables.

1. Généralités. — Les coupe-circuit à vis, du type Edison ou Siemens, utilisent des fusibles calibrés suivant les intensités de courant à admettre; ces fusibles sont placés dans des cartouches fixées au socle par un tenon qui est lui-même calibré de façon à ne permettre l'interchangeabilité des cartouches que pour un courant donné.

Le nouveau dispositif adopté par la Société L'Eclairage général, à Cahors, basé sur ce principe, présente l'avantage de rendre possible le changement d'une cartouche par l'usager lui-même et cela, en évitant toute possibilité de fraude.

2. Description. — La plaquette de calibrage qui dans les coupe-circuit ordinaires est vissée à l'intérieur du socle, est placée sous le socle (fig. 1) du nouvel appareil. De cette façon, une fois celui-ci posé et plombé, l'usager ne peut en-

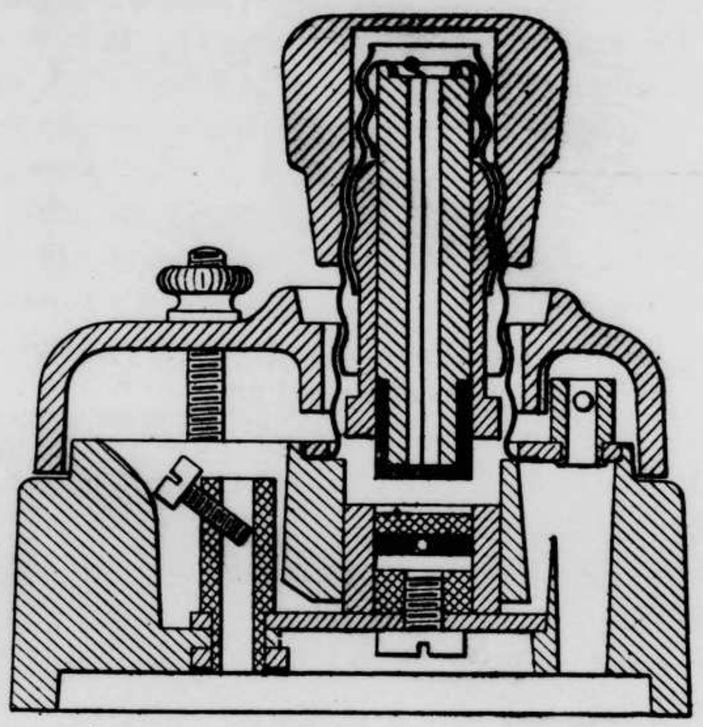


Fig. 1. — Coupe schématique d'un nouveau dispositif de coupe-circuit infraudable.

lever la plaquette de calibrage, d'où première impossibilité de fraude. Un dispositif ingénieux a été conçu pour empêcher l'usager d'avoir du courant sans avoir placé le bouchon et sa cartouche calibrée; il est constitué par deux pièces métalliques qui ne peuvent entrer en contact que par la pression de cette cartouche. Il est à noter que le même socle peut être employé pour les différentes intensités du courant à admettre; en effet, la plaquette de calibrage peut être changée après le simple démontage d'un écrou, opération qui nécessite au préalable le déplombage de l'appareil.

La cartouche est maintenue dans le bouchon par une pièce calibrée, de façon à empêcher l'emploi d'une cartouche quelconque dans un appareil calibré pour une intensité de courant déterminée. De plus, pour que l'usager ne puisse supprimer cette pièce, celle-ci est disposée de telle façon que le courant ne puisse traverser la cartouche si cette pièce n'est pas en place.

3. Avantages. — L'ensemble de toutes ces dispositions présente, en résumé, les avantages suivants :

1° Le distributeur d'énergie peut faire plomber le socle, une fois celui-ci mis en place avec son dispositif de calibrage; il a ainsi la certitude que l'usager ne pourra placer dans l'appareil qu'une cartouche calibrée pour l'intensité de courant fixée;

2° L'usager peut remplacer lui-même le fusible, avec des cartouches laissées à sa disposition, l'appareil restant plombé;

3° Le courant est coupé sitôt que le bouchon est enlevé;

4° Il ne peut être introduit dans le bouchon une cartouche fusible calibrée pour une intensité de courant supérieure à celle fixée. — R. G.

(1) Carl-J. Fechheimer *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1930, t. xlix. p. 263-267, 1 500 mots, 9 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Les règles générales suivies par les organismes français de normalisation pour assurer l'homogénéité de leurs normes

Des règles précises doivent présider à l'établissement des normes afin que la normalisation concernant un sujet déterminé soit en concordance avec celle établie ou devant être établie pour un autre sujet en connexion avec le premier. Cette condition n'avait pas échappé à l'ancienne Commission permanente de Standardisation et tous les travaux français de normalisation ont été effectués suivant les règles d'homogénéité envisagées par cette commission. Ces règles n'ont été jusqu'ici l'objet d'aucune publication. Le Comité de Normalisation de la Mécanique, qui les a mises au point et se propose de les publier prochainement sous la forme d'une norme, nous prie de les publier également dans nos colonnes, afin de montrer au public, tant français qu'étranger, que les travaux de normalisation effectués en France reposent sur une base vraiment large et rationnelle. Nous acquiesçons volontiers à ce désir et nous reproduisons ci dessous le texte de la norme C. N. M. 110, qui a reçu l'approbation du Comité supérieur de Normalisation et que se propose de publier le Comité de Normalisation de la Mécanique.

Règles d'homogénéité des normalisations

I. **Introduction.** — Le présent fascicule a pour but de formuler des règles pratiques à l'usage des Comités, des groupements divers et des entreprises particulières qui élaborent des normalisations.

La liste des normalisations (réalisées ou en projet) conformes à ces règles y est jointe en annexe.

Cette annexe a pour objet d'indiquer dans quelles conditions les règles d'homogénéité des normalisations ont déjà été appliquées. L'ensemble des exemples d'application constitue, en effet, le guide le plus sûr qui puisse être mis à la disposition des intéressés.

II. **Exposé des faits.** — Les règles énoncées ci-après ont pour bases les faits suivants :

1. Il existe des groupes de normalisations interdépendantes. — Les éléments de chacun de ces groupes doivent être tels que la possibilité d'adaptation des éléments des groupes connexes soit assurée dans tous les cas.

Exemples : A) A la normalisation des vitesses tangentielles des poulies des machines réceptrices doit correspondre une normalisation concordante pour les machines motrices.

B) A la normalisation des tiges filetées et des écrous doit correspondre une normalisation concordante des matières dont ces éléments sont constitués, ainsi que des outils et instruments servant à les produire et à les vérifier (produits étirés, tarauds, filières, calibres, etc...)

2. Cette condition de cohérence implique que les unifications appartenant à un même groupe soient homogènes, c'est-à-dire que les caractéristiques numériques des éléments normalisés procèdent d'une série définie et unique.

3. Pour chaque normalisation, la série à choisir est celle qui dans toute l'étendue correspondant à l'utilisation pratique donne un échelonnement assez bien gradué pour que l'assortiment qui en résultera soit suffisant, et cela moyennant le moindre nombre possible d'échantillons.

4. Dans ces conditions, il a été nécessaire de rechercher, par l'examen de la plus grande variété possible des cas de normalisation qui se présentent en pratique, le moyen de réduire au minimum le nombre des séries différentes à appliquer.

5. Cette investigation a conduit à recommander l'emploi de certaines séries, dont la liste peut être établie comme il suit, et dont on trouvera plus loin la définition et les conditions d'emploi :

Séries Renard (série primaire et séries accessoires);

Séries du système international ou S. I. (série primaire et séries accessoires);

Série harmonique ;

Série des premiers nombres entiers ;

Série des multiples d'une grandeur donnée par la suite des nombres entiers ;

Série des quotients d'une grandeur donnée par les premiers nombres entiers ;

Série des multiples de 4 ;

Série des quotients d'une grandeur donnée par les puissances entières de 2 ;

Série dite des poids et mesures.

De toutes ces séries, la série Renard est celle dont l'emploi s'applique à la plus grande variété de cas.

III. **Plan adopté.** — Dans ces conditions, il a été décidé de définir les cas d'application des séries recommandées autres que la série Renard et de limiter l'emploi de ces séries aux cas ainsi définis.

Les conditions d'application de ces séries diverses étant ainsi définies et limitées, la série Renard est à employer, hors les cas d'impossibilité naturelle ou de sérieuse contre-indication, pour toutes les normalisations n'appartenant pas aux groupes qui sont définis ci-après dans les règles d'application des autres séries.

IV. **Définition et règles d'application des séries.** — 1. Série Renard. — *Définition.* — La série Renard (1) est une progression géométrique ayant pour raison $\sqrt[10]{10}$ et contenant les puissances entières de 10. Elle s'étend indéfiniment dans les deux sens.

Dans cette série, tous les termes autres que les puissances entières de 10 sont incommensurables. Pour en faciliter l'emploi, on a substitué aux termes exacts des équivalents mnémoniques qui en sont des valeurs approchées.

Les propriétés très remarquables de la série Renard sont indiquées au tableau I ci-dessous, qui montre le parti qu'on en peut tirer, non seulement pour la normalisation, comme l'ont fait le colonel Renard et ceux qui l'ont suivi, mais aussi pour le calcul rapide.

Tableau I.

Termes de la progression		Équivalents par rapport à 2		Équivalents par rapport à π		Équivalents mnémoniques	
Rang.	Valeur numérique.	Valeur nominale.	Erreur relative.	Valeur nominale.	Erreur relative.	Valeur nominale.	Erreur relative.
0	1,000	1				1	
1	1,259	$2^{\frac{1}{3}}$	+ 0,0008	$\frac{4}{\pi}$	+ 0,0111	1,25	— 0,0072
2	1,585	$2^{\frac{2}{3}}$	+ 0,0016	$\frac{\pi}{2}$ $\frac{1}{2\pi}$ (× 10)	— 0,0090 + 0,0043	1,6	+ 0,0094
3	1,996	2	+ 0,0024			2	+ 0,0024
4	2,512	$2^{\frac{4}{3}}$	+ 0,0032			2,5	— 0,005
5	3,163	$2^{\frac{5}{3}}$	+ 0,004	π $\frac{1}{\pi}$ (× 10)	— 0,0069 + 0,0069	3,2	+ 0,0117
6	3,981	2^2	+ 0,0048			4	+ 0,0048
7	5,012	$2^{\frac{7}{3}}$	+ 0,0056			5	— 0,0025
8	6,310	$2^{\frac{8}{3}}$	+ 0,0064	2π $\frac{2}{\pi}$ (× 10)	— 0,0043 + 0,0090	6,4	+ 0,0141
9	7,943	2^3	+ 0,0072	$\frac{\pi}{4}$ (× 10)	— 0,0111	8	+ 0,0072
10	10,000	$2^{\frac{10}{3}}$	+ 0,0080			10	

Série Renard primaire et séries accessoires. — Les applications pratiques de la série Renard ont montré la nécessité de recourir, dans certains cas, à des séries accessoires.

Les séries accessoires dont l'emploi est prévu sont les suivantes :

Série Renard à intervalles doublés, principale. — Cette série a pour raison $\sqrt[5]{10}$ et contient les puissances entières de 10. On la forme en partant d'une puissance entière de 10 et en ne prenant qu'un sur deux des termes de la série principale.

Série Renard à intervalles doublés, complémentaire. — Cette série a aussi pour raison $\sqrt[5]{10}$, mais elle ne contient pas les puissances entières de 10. On la forme en prenant ceux des termes de la série primaire qui alternent avec les termes de la série à intervalles doublés principale.

Série Renard secondaire. — Cette série a pour raison $\sqrt[20]{10}$. Elle comprend tous les termes de la série principale, plus les moyens géométriques entre ces termes.

(1) La série est ainsi nommée en mémoire du colonel Ch. Renard qui en a fait vers 1880, pour des éléments de la construction aéronautique, les premières applications dont on ait connaissance.

Série Renard tertiaire. — Cette série a pour raison $\sqrt[40]{10}$. Elle comprend tous les termes de la série secondaire, plus les moyens géométriques entre ces termes.

Symboles. — La Commission permanente de Standardisation a admis de désigner les séries Renard par les symboles suivants :

Série primaire : R 1.

Série à intervalles doublés, principale : $R\frac{2}{1}$ 10.

Série à intervalles doublés, complémentaire : $R\frac{2}{1}$ 12.

Série secondaire : R 2.

Série tertiaire : R 3.

Chiffres adoptés pour ces diverses séries. — Les chiffres des séries Renard sont les suivants entre 10 et 100, ces chiffres pouvant être étendus indéfiniment dans les deux sens, en les multipliant par les puissances entières, positives ou négatives de 10 :

Série à intervalles doublés principale :

10 16 25 40 64 100

Série à intervalles doublés complémentaire :

12,5 20 32 50 80

Série primaire :

10 12,5 16 20 25 32 40 50 64 80 100.

Série secondaire :

10 11,2 *12,5* 14 *16* 18 *20* 22,4 *25* 28 *32* 36
40 45 *50* 56 *64* 72 *80* 90 *100*

Série tertiaire :

10 10,6 *11,2* 11,8 **12,5** 13,2 *14* 15 **16** 17 *18* 19
20 21,2 *22,4* 23,6 **25** 26,5 *28* 30 **32** 34 *36* 38
40 42,5 *45* 47,5 **50** 53 *56* 60 **64** 68 *72* 76
80 85 *90* 95 **100**

Règles d'application des séries Renard. — En principe, on emploie la série primaire R 1. Si elle donne un assortiment surabondant, on emploie une des séries à intervalles doublés, de préférence la série principale. Si, au contraire, la série R 1 donne un assortiment insuffisant, on emploie la série R 2, ou même, très exceptionnellement, la série R 3 lorsqu'il est reconnu out à fait impossible de constituer un assortiment suffisant avec la série R 2.

On trouvera en annexe les exemples de normalisations réalisées ou projetées.

En principe, et sauf absolue nécessité, on s'abstiendra d'employer les séries irrégulières que l'on pourrait constituer en prenant, dans la série primaire ou dans l'une des séries accessoires, des termes irrégulièrement espacés.

Critérium d'appropriation de la série choisie. — Lorsqu'on envisagera l'emploi de l'une des séries Renard dans un cas où l'emploi d'une progression géométrique ne s'impose pas d'une manière absolue, on reconnaîtra que ce type de série convient au fait qu'il donnera un assortiment satisfaisant dans toute l'étendue des emplois usuels des éléments à normaliser, et ceci sans qu'il soit nécessaire de passer de la série primaire à une série accessoire ou de l'une de celles-ci à une autre ou à la série primaire.

2. Série du système international (S. I.). — La série du système international, dite S. I., est une suite de progressions arithmétiques.

Son utilité découle surtout de ce que les intervalles absolus (différences) de deux termes consécutifs vont en croissant, tandis que les intervalles relatifs vont en décroissant.

A l'origine (Congrès de Zurich, 1899 et 1900) elle s'étendait de 6 à 80 mm. La Commission permanente de Standardisation l'a prolongée, vers le bas, jusqu'à 2,5 mm par intervalles de 0,5 mm et, vers le haut, sans limite définie, par intervalles de 5 mm.

Le Comité de Normalisation de la Mécanique, prenant acte de ce que jusqu'à présent (juin 1930) les groupements internationaux n'ont pas encore réalisé l'accord en ce qui concerne les diamètres inférieurs à 3 mm, a admis que l'adoption du diamètre 2,5 mm ne pouvait pas être considérée comme définitive.

Il en résulte que, dans l'état actuel de ses applications, la série S. I. commence à 3 mm et s'étend sans que sa limite supérieure soit définie.

Série S. I. *primaire et séries accessoires.* — La série primaire est ainsi définie :

Termes de 3 à 6 inclusivement par intervalles de 0,5 ;

Termes de 6 à 12 inclusivement, par intervalles de 1 ;

Termes de 12 à 24 inclusivement, par intervalles de 2 ;

Termes de 24 à 48 inclusivement, par intervalles de 3 ;

Termes de 48 à 80 inclusivement, par intervalles de 4 ;

Termes 80 et au delà par intervalles de 5.

Lorsque la série S. I. primaire donne un assortiment surabondant, on emploie la série S. I. à intervalles doublés principale. Cette série comprend un terme sur deux de la série primaire et commence par le terme 3.

Dans certains cas, il y a lieu d'employer la série S. I. à intervalles doublés complémentaire.

Cette série est constituée par tous les termes de la série S. I. primaire, qui alternent avec ceux de la série à intervalles doublés principale.

Enfin, il s'est manifesté des cas où les séries S. I. à intervalles doublés étaient elles-mêmes surabondantes, Pour ces cas, on a constitué une série S. I. réduite, en ne prenant qu'un terme sur deux de la série S. I. à intervalles doublés.

Les termes choisis ont été

16 24 36 48 64 80 100

Règles d'application de la série S. I. — La série S. I. et ses séries accessoires sont appliquées à la normalisation de tous les éléments dont la dimension caractéristique ou principale consiste dans le diamètre d'un ajustement cylindre lisse ou fileté, le diamètre de la grande base d'un ajustement tronconique, ou la largeur d'une rainure.

Elles ne sont appliquées qu'aux éléments ainsi définis.

En annexe sont donnés les exemples de normalisations réalisées ou projetées.

3. Séries diverses. — *Série harmonique.* — C'est celle que l'on constitue en multipliant les nombres 4, 5 et 6 par les puissances entières de 2 (1).

Son application est limitée aux cas exigeant des nombres simples, c'est-à-dire, n'ayant pas de grands facteurs premiers.

En annexe sont donnés les exemples de normalisations réalisées.

Série des premiers nombres entiers. — Son emploi est limité aux normalisations qui, en raison de leur nature, exigent absolument des nombres entiers (nombre de socs d'une charrue, nombre de cylindres d'un moteur, etc.).

Série des multiples d'une grandeur donnée par la suite des nombres entiers. — Elle n'a d'intérêt que pour les normalisations exigeant nécessairement une grande variété de facteurs premiers.

Elle n'a été appliquée jusqu'à présent qu'aux modules des engrenages interchangeables.

Série des quotients d'une grandeur donnée par les premiers nombres entiers. — Son emploi est limité aux normalisations dont la nature l'impose.

En annexe sont donnés les exemples de normalisations réalisées ou projetées.

Série des multiples de 4. — Cette série ne s'applique qu'aux nombres de boulons de certaines brides de tuyauteries.

Série dite des poids et mesures. — On l'obtient en prenant chacune des unités principales de l'ordre décimal seule ou accompagnée de sa moitié et de son double. C'est celle qui est appliquée aux modèles réglementaires des mesures effectives de poids et de capacité.

En annexe sont donnés les exemples de normalisations réalisées ou projetées.

V. **Résumé des règles fondamentales.** — En résumé :

Les séries autres que les séries Renard ne sont appliquées qu'à celles des normalisations qui sont spécifiées ci-avant pour chacune d'elles, à celles qui en dépendent directement, et à celles dont la nature en impose l'emploi.

Les séries Renard, telles qu'elles sont définies au présent fascicule, sont appliquées à toutes les autres normalisations, sauf contre-indication à motiver par écrit.

VI **Règles spéciales de normalisation à l'usage des entreprises particulières.** — Les entreprises particulières sont souvent amenées à réaliser des normalisations propres à leur industrie.

Il y a toujours avantage à ce que ces normalisations soient mises en harmonie avec les normalisations d'intérêt collectif, certaines de ces normalisations pouvant, en effet, acquérir par la suite le caractère collectif. Même en dehors de ce cas, elles ont toujours des rapports plus ou moins étroits avec les normalisations collectives, notamment en ce qui concerne les matières et l'outillage nécessaires aux fabrications.

Il est instamment recommandé aux entreprises d'observer rigoureusement, dans leurs normalisations particulières les normes collectives, ou tout au moins les règles données ci-avant.

Il leur est recommandé, notamment, d'échelonner suivant les séries Renard (série primaire ou l'une des séries accessoires), leurs modèles normaux devant figurer aux catalogues.

Des exemples de normalisations particulières réalisées ou en projet sont donnés à l'annexe.

Annexe : Normalisations collectives réalisées ou en projet

I. **Série Renard primaire et ses séries accessoires.** — Série Renard primaire R 1. — Diamètres des cordages et dimensions linéaires des éléments connexes de la construction aéronautique (Charles Renard 1880).

Classification de matières grenues et pulvérulentes (série primaire, concurremment avec les séries accessoires) (Société d'Encouragement, octobre 1925).

Allures de marche (vitesses et avances) des machines-outils (C. N. M. 113).

Diamètres des tambours pour arbres de transmission (C. N. M. 114).

Largeurs de base des aciers méplats pour outils forgés (C. P. S., fascicule E.2-7 et C. N. M. 251).

Supports d'outils pour tours (C. P. S., fascicule E. 2-9 et C. N. M. 9).

Tubes cuivre rouge pour tableaux (diamètres extérieurs et épaisseurs) (U. S. E. 64).

Bases et dalles en marbre pour tableaux de distribution (U. S. E. 98).

Barres de cuivre et aluminium pour tableaux (largeurs) (U. S. E. 14).

Fils et câbles aluminium (U. S. E. 149).

Intensités de courant (U. S. A. 185).

(1) La série harmonique tire son nom de ce que les nombres 4, 5 et 6 sont entre eux comme les fréquences acoustiques correspondant à l'accord parfait majeur, la multiplication par les puissances entières de 2 les reproduisant aux octaves.

Puissance des groupes turbo-alternateurs (U. S. E. 199).

II. **Série Renard à intervalles doublés, principale.** — Poids par unité de longueur des cordages de l'aéronautique (Ch. Renard 1880).

Vitesse des broches des petites machines à percer série R^2_1 1, concurremment avec série R^2_1 12,5 (C. N. M. 113).

Barres de cuivre et aluminium pour tableaux (épaisseurs) (U. S. E. 148).

Série Renard secondaire R 2. — Diamètres des poulies réceptrices, fixes et folles ou à friction, des renvois de machines-outils (C. N. M. 114).

Vitesses des broches de meules des machines à rectifier (C. N. M. 113), etc...

Série Renard tertiaire R 3. — Hauteurs d'axes des machines telles que moteurs électriques, etc... susceptibles d'être montées sur des socles en vue de l'accouplement direct (C. N. M. 141).

III. **Série S. I. primaire et ses séries accessoires.** — Série S. I. primaire. — Diamètres des vis dites à filet triangulaire et de tout ce qui en dépend directement (Congrès de Zurich, 1900).

Diamètres des ajustements cylindriques, lisses et filetés et des barres rondes pour la fabrication des boulons et rivets (C. P. S. E. 1 et C. N. M. 1 à 27).

Normalisations diverses d'outillages se rapportant aux ajustements cylindriques, lisses ou filetés, etc...

Série S. I. a intervalles doublés, principale. — Arbres porte fraises (C. P. S. E 2-10 et C. N. M. 65).

Clavetages (C. P. S. E 2-2 et C. N. M. 62 à 64).

Rainures à T (C. N. M. 100).

Emmanchements tronconiques de mécanique générale (C. P. S. E 2-3).

Série S. I. a intervalles doublés complémentaire. — Epaisseurs des aciers à outils livrés en barres brutes et qui après façonnage à l'outil, doivent être ramenés à la série S. I. à intervalles doublés, principale (C. P. S. E 2-7 et C. N. M. 252).

Série S. I. réduite. — Trous d'emmanchement des outils dans les tourelles des tours à revolver et les coulisseaux des tours verticaux (C. P. S. E 2-11 et C. N. M. 61).

IV. **Séries spéciales.** — Série harmonique. — Nombre de dents de fraises et autres outils, obtenus par division circulaire (normalisations particulières).

Série des quotients d'une grandeur donnée par les premiers nombres entiers. — Pas fins pour éléments de machines et autres. Ce sont des pas S. I. ayant 12 comme multiple commun ; c'est la seule combinaison qui permette le travail rapide sur tours à fileter (C. P. S. E 1 et C. N. M. 131).

Nombre exact de tours par minute des moteurs électriques synchrones à courant alternatif 50 p:s : ce sont les quotients de 3000 par les premiers nombres entiers. C'est la seule série possible.

Nombre approximatif de tours des moteurs asynchrones.

Série dite des poids et mesures. — Mesures effectives de poids et de capacité (modèles réglementaires).

Quantités de marchandises (en nombres de pièces, en grammes, etc...) contenues dans les empaquetages.

Quelques normes d'empaquetage et de vente de quincaillerie où la dizaine, la centaine, le mille, ont remplacé la douzaine, la grosse, la masse.

Graduation des cadrans de machines (C. P. S. E 2-4, 6° et C. N. M. 94).

Echelle des dessins techniques (C. N. M. 41). etc...

Assemblées générales

Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris.

Assemblée générale ordinaire du 6 juin 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société en liquidation au capital de 75 millions de francs et dont le siège social est à Paris, 20, rue d'Athènes, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Le nombre des billets délivrés a été de 92 038 066 en augmentation de 3 899 016 sur 1928 ; les recettes correspondantes sont de 62 750 895,95 fr en augmentation de 2 millions 815 198,05 fr (1).

L'augmentation des dépenses, qui porte en particulier sur les charges de personnel et sur les règlements définitifs avec les fournisseurs d'énergie électrique, a ramené la part bénéficiaire qui revient à la Ville de Paris dans les résultats de l'exploitation à 2 225 277,06 fr. A ce chiffre s'ajoutent la moitié des recettes hors trafic (publicité, etc.), soit 648 983,40 fr et les redevances diverses, dont le montant est de 1 142 901,28 fr.

Le service des trains n'a présenté aucun changement sensible par rapport à l'exercice précédent. La suppression des gardes de première classe a permis de réaliser des réductions de personnel. Aussi, au 31 décembre 1929, l'effectif était-il de 1 310 agents contre 1 375.

Les opérations de travaux neufs se sont réduites pendant le cours de l'exercice 1929, à l'achèvement de la galerie d'intercommunication entre la station rue Marcadet de la ligne métropolitaine n° 4 et la station rue des Poissonniers qui a été mise en service le 4 octobre 1929 et à la continua-

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 3 août 1929, t. XXVI, p. 197.

tion des travaux d'aménagement du terminus de la Porte de Versailles qui se sont poursuivis dans de bonnes conditions.

Voici quelques renseignements sur les différents postes du compte des recettes et des dépenses :

Figurent au crédit : les recettes voyageurs, 62 750 895,95 fr en augmentation de 2 815 198.05 fr sur l'exercice précédent; les recettes diverses, 1 263 799,10 fr, composées pour la plus grande partie des intérêts sur les sommes employées en travaux de premier établissement non encore productifs.

Figurent au débit : les dépenses d'exploitation, 47 millions 82 310,47 fr, en augmentation de 5 711 000,63 fr pour les motifs déjà indiqués ; les charges des emprunts, 8 millions 991 480,05 fr en augmentation sensible provenant de l'inscription en compte de la fraction des charges de l'emprunt 4 pour 100 1913 courues au 31 décembre 1929; les redevances à la Ville de Paris sur billets délivrés et redevance forfaitaire, 1 142 901,28 fr; la rémunération de la société comprenant la prime sur les billets délivrés, la prime au produit du trafic avec abattements calculés conformément à la convention, 4 572 726,19 fr contre 4 millions 748 616,68 fr en 1920.

La balance du compte présente un solde créditeur de 2 225 277,06 fr.

A l'actif du bilan le poste caisse et banques est en augmentation de 12 471 520,06 fr par suite des versements qui ont été faits par la Ville de Paris en couverture des travaux de premier établissement déjà effectués.

Les valeurs en portefeuille sont, par contre, en diminution du fait de la réalisation de certains titres appartenant au portefeuille de la société.

A l'actif du compte de profits et pertes figurent : 1° le report à nouveau de l'exercice 1928, 88 402,81 fr; le produit des immeubles, fonds et valeurs appartenant à la société, 309 289,85 fr; la rémunération de la société, calculée conformément à la convention du 18 juillet 1921, y compris la part lui revenant sur le produit de la publicité, des bibliothèques des stations et des appareils automatiques des quais, 5 221 709,59 fr.

Au débit figure un versement au compte provision de 50 000 fr.

Le solde distribuable s'élève à 5 569 402,25 fr, Il est réparti comme il suit :

5 pour 100 à la réserve légale, 274 040,95 fr; au fonds d'amortissement, 1 000 000 fr; premier dividende de 4 pour 100 aux 267 192 actions en circulation, 2 671 920 fr; 10 pour 100 au conseil d'administration sur le surplus des bénéfices de l'exercice, 153 502,95 fr; dividende de 5,50 fr aux 267 192 actions, 1 469 556 fr; solde, 373,35 fr.

Le dividende total, soit 15,50 fr par action, est mis en paiement à partir du 1er juillet 1930 sous déduction des impôts de finance.

La fusion de la société avec la Compagnie du Chemin de fer métropolitain, qui a été décidée par l'assemblée générale extraordinaire du 22 mai 1929, a pu être réalisée au 1er janvier 1930, le décret approuvant à la fois cette fusion et les nouveaux accords avec la Ville de Paris et le département de la Seine ayant été signé le 24 décembre 1929 et ayant paru au « Journal officiel » du 29 décembre 1929.

Les services d'exploitation sont passés sous la direction de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain le 1er janvier 1930 et dès cette date les types de billets ont été unifiés. Les opérations de liquidation qui se sont effectuées dans des conditions tout à fait normales, se sont limitées à des opérations d'ordre courant.

Rappelons qu'aux termes des accords avec la Compagnie du Chemin de fer métropolitain, l'échange des titres doit se faire dans la proportion de cinq actions Nord-Sud contre deux actions Métropolitain (jouissance 1er janvier 1930). Cet échange se fera lors du paiement du coupon n° 19.

Depuis le 1er janvier la Compagnie du Chemin de fer métropolitain a assumé le service des différents emprunts émis par la société.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Caisse et banques	17 794 115,14
Valeurs en portefeuille	9 939 577,70
Cautionnement	480 000 »
Terrains et immeubles	390 188,08
Approvisionnements	3 193 246,37
Débiteurs divers	1 017 793,08
Infrastructure	129 223 085,11
Superstructure	37 229 422,53
Matériel roulant	25 472 546,43
Dépôt, ateliers et outillage	6 012 740,60
	230 752 715,04

Passif.

	fr
Capital actions :	
300 000 actions dont 32 808 amorties	75 000 000 »
Obligations :	
4 pour 100 1909 : 51 530 en circulation	34 996 800 »
4 pour 100 1913 : 66 555 en circulation	34 999 800 »
6,50 pour 100 1924 : 65 270 en circulation	26 996 150 »
Créditeurs divers	13 951 151,45
Avance de la Ville de Paris	17 857 250 »
Fonds de retraites du personnel	9 902 716,27
Obligations à rembourser	2 278 485,31
Coupons obligations à payer	1 696 734,79
Coupons actions à payer	461 332 »
Réserve légale	2 761 223,20
Fonds d'amortissement	2 000 023,02
Compte provision	2 281 646,75
Profits et pertes	5 569 402,25
	230 752 715,04

SECTION DE LÉGISLATION

La loi du 1er mai 1930 sur le régime des sociétés par actions

La constitution des sociétés par actions, la modification de leurs statuts, les conditions de validité de leurs assemblées générales et le quorum nécessaire pour les majorités intéressent aujourd'hui toutes les professions. Au point de vue juridique une particularité de la nouvelle loi a passé inaperçue. Il n'est pas inutile de la mettre en lumière.

I. **Observations générales sur la loi du 1er mai 1930.** — Cette loi, qui a paru au « Journal officiel » du 2 mai 1930, a été remarquée, tout d'abord, parce qu'elle apporte certaines simplifications à la tenue et au vote des assemblées générales et elle mérite bien son titre : « Loi modifiant la loi du 22 novembre 1913 sur le régime des sociétés »; on se rappelle que la loi du 22 novembre 1913 avait elle-même modifié l'article 31 de la loi du 24 juillet 1867 dont le laconisme consistait à déclarer que les assemblées de modification des statuts ne pourraient délibérer que si elles comprenaient au moins la moitié du capital social; il n'était pas dit quelles modifications seraient permises et aucune distinction n'était faite d'après leur importance.

La loi du 22 novembre 1913 avait commencé par rappeler qu'est interdite toute modification à la nationalité de la société et toute aggravation des charges de l'actionnaire; ensuite elle avait déclaré que l'assemblée générale délibérant comme il allait être indiqué pourrait modifier les statuts dans toutes leurs dispositions.

Elle proclamait que, malgré toute clause contraire de l'acte de société, les assemblée générales ayant à délibérer sur les modifications seraient composées, en admettant dans leur sein *tous* les actionnaires, quel que soit le nombre des actions dont chacun serait porteur, et que le vote se ferait avec un nombre de voix égal aux actions de chaque porteur, *sans limitation*.

La loi nouvelle du 1er mai 1930 maintient la partie la plus importante de ces principes, en la modifiant sur quelques points de détail.

Elle interdit à nouveau de changer la nationalité de la société et les engagements des actionnaires. Mais sur tous les autres points, elle proclame la possibilité complète de changer les statuts; et elle supprime une restriction un peu puérile qui était contenue dans la loi du 22 novembre 1913 et spécifiait que la modification des statuts n'était permise que si lesdits statuts ne l'interdisaient point. Comme le fait très bien remarquer le rapporteur de la loi, M. le député Gignoux, (voir « Lois usuelles », 1er juin 1930, page 346) il est logique de ne pas tenir compte d'une clause qui, écrite parfois depuis fort longtemps, lierait les actionnaires pour toute la durée de la vie sociale, alors qu'un changement serait absolument nécessaire : il serait presque inutile de faire une loi, si son application pouvait être entravée par la charte initiale.

Toutes les fois que des statuts devront être modifiés, il sera nécessaire d'ouvrir la porte de l'assemblée à toute personne ne fût-elle porteur que d'une seule action. Toutefois, la loi nouvelle autorise le respect des statuts en ce qui concerne dans le vote la limitation du nombre de voix, à la condition que cette limitation soit uniforme pour toutes les actions, même s'il y a plusieurs catégories d'actions créées en vertu de la loi du 16 novembre 1903 (1).

Les termes de la nouvelle loi sont absolument formels : « L'article 31 de la loi du 24 juillet 1867 est remplacé par les dispositions suivantes : article 31 : l'assemblée générale, délibérant comme il est dit ci-après, peut modifier les statuts dans toutes leurs dispositions. Elle ne peut toutefois changer la nationalité de la société, ni augmenter les engagements des actionnaires.

» Nonobstant toute clause contraire de l'acte de société tout actionnaire, quel que soit le nombre de ses actions, peut prendre part aux assemblées générales qui ont à délibérer sur les modifications aux statuts.

(1) On sait que cette loi a eu pour but de compléter l'article 34 du Code de Commerce qui était très laconique et ainsi conçu : « Le capital de la société anonyme se divise en actions et même en coupons d'actions d'une valeur égale » (voir ce texte dans le *Code de Commerce*, annoté par Cohendy, antérieurement à la loi du 16 novembre 1903). Cette loi a permis à toute société anonyme de créer des actions de priorité, à la condition que toutes les actions aient un droit de vote égal; mais quand une décision de l'assemblée générale comporte une modification dans les droits attachés à une catégorie d'actions, cette décision n'est définitive qu'après avoir été ratifiée par une assemblée spéciale des actionnaires de la catégorie visée.

Quelle était la composition de cette assemblée générale de la catégorie envisagée? La loi de 1903 la fixait à la moitié du capital représentant la catégorie spéciale. La loi du 1er mai 1930 déclare que les assemblées seront tenues comme il est prescrit par l'article 31 de la loi du 24 juillet 1867, paragraphes 3 et 4, c'est-à-dire avec la composition des trois quarts, s'il s'agit d'une modification de la forme ou de l'objet et des deux tiers avec abaissement progressif au tiers s'il s'agit d'une autre modification. (Voir l'article 2 de la nouvelle loi.)

Dans ces assemblées, chaque actionnaire a autant de voix qu'il représente d'actions et ce, sans limitation, à moins que la limitation ne soit prévue par les statuts et à condition que cette limitation soit uniforme pour toutes les actions, même s'il y a plusieurs catégories d'actions créées en vertu de la loi du 16 novembre 1903. »

Si nous descendons dans le détail des modifications possibles, nous trouvons dans les deux lois, aussi bien dans celle du 22 novembre 1913 que dans la loi du 1er mai 1930, une distinction très nette.

Deux modifications sont considérées comme particulièrement importantes : celles qui portent sur l'objet ou la forme de la société.

Par conséquent, tous les autres changements, par exemple l'augmentation du capital, sont considérés comme étant d'un ordre secondaire.

Pour les deux modifications réputées comme graves (objet ou forme), la loi nouvelle ne modifie rien de la loi ancienne, les deux textes sont identiques : « Les assemblées qui ont à délibérer sur les modifications touchant à l'objet ou à la forme de la société ne sont régulièrement constituées et ne délibèrent valablement qu'autant qu'elles sont composées d'un nombre d'actionnaires représentant les trois quarts du capital social : les résolutions pour être valables doivent réunir les deux tiers au moins des voix des actionnaires présents ou représentés. »

Entrons maintenant dans la voie des stipulations différentes.

Avec la loi du 22 novembre 1913, les assemblées appelées à délibérer même sur des transformations moins importantes que l'objet ou la forme de la société étaient régies par les mêmes principes : la première assemblée ne pouvait délibérer qu'avec la représentation des trois quarts et la majorité de deux tiers. On voyait cette rigueur s'adoucir seulement après cette tentative infructueuse ; une nouvelle assemblée était convoquée et pouvait délibérer valablement avec la composition de la moitié du capital social ; enfin, au cas d'échec, une troisième assemblée était convoquée et était constituée avec le tiers du capital social.

Quant à la majorité, elle n'était jamais acquise, soit dans l'une, soit dans l'autre de ces assemblées successives, qu'avec les deux tiers des voix des actionnaires présents ou représentés.

La loi nouvelle du 1er mai 1930 contient de sérieux adoucissements ; sans doute, la majorité des deux tiers sera toujours requise dans toutes les assemblées successives ; mais la sévérité n'est plus la même pour la composition.

Dès le début, nous sommes avertis que cette composition ne sera soumise qu'à la réunion des deux tiers du capital, pour la première assemblée. La composition sera suffisante avec la moitié du capital, pour la seconde assemblée convoquée au cas où le quorum n'aurait pas été obtenu par la première. La troisième sera suffisante avec le tiers du capital.

Et même si ce tiers n'est pas acquis, cette troisième assemblée pourra être prorogée, à la condition de se tenir avant l'expiration d'un délai de deux mois à compter de la convocation et six jours au moins après le dernier avis de convocation ; elle se tiendra valablement si le tiers du capital se trouve réuni. Comme on l'a fort bien dit, nous pouvons aujourd'hui *partir* des deux tiers pour *aboutir* au tiers, *en passant* par la moitié du capital, ce qui est moins désagréable que de partir toujours des trois quarts.

La loi est absolument formelle : « Dans les cas autres que ceux prévus par le précédent paragraphe (objet et forme) si une première assemblée n'a pas réuni un nombre d'actionnaires représentant les deux tiers au moins du capital social, une nouvelle assemblée peut être convoquée dans les formes statutaires, et par deux insertions faites à une semaine d'intervalle dans le « Bulletin des Annonces légales et obligatoires » et dans un bulletin d'annonces légales du siège social. Cette convocation reproduit l'ordre du jour indiquant la date et le résultat de la précédente assemblée. La seconde assemblée délibère valablement si elle se compose d'actionnaires représentant la moitié au moins du capital social. Si cette seconde assemblée ne réunit pas la moitié du capital social, il peut être convoqué, dans les formes ci-dessus, une troisième assemblée qui délibère valablement si elle représente le tiers au moins du capital social.

» A défaut de ce quorum, cette troisième assemblée peut être prorogée à une date ultérieure de deux mois au plus, à partir du jour où elle aurait été convoquée. La convocation de l'assemblée prorogée a lieu dans les formes ci dessus : l'assemblée doit comprendre un nombre d'actionnaires représentant au moins un tiers du capital social. Les assemblées ne peuvent se tenir que six jours au moins après le dernier avis de convocation. Leurs résolutions pour être valables devront toujours réunir les deux tiers au moins des voix des actionnaires présents ou représentés. »

II. **Observation spéciale au redressement d'une erreur commise par la loi du 22 novembre 1913.** — Si le public a accueilli comme toujours avec satisfaction la simplification d'une loi, les jurisconsultes ont été encore beaucoup plus heureux de constater que la loi nouvelle réparait une erreur commise par le Parlement dans la rédaction de la loi du 22 novembre 1913. Evidemment, la réparation à dix-sept ans d'intervalle d'une erreur colossale et absurde ne peut passer pour une journée vraiment glorieuse pour le Parlement français. Il faut toutefois savoir se contenter et apprécier un bienfait même tardif.

Le but de la loi du 22 novembre 1913 était beaucoup moins de légiférer pour l'avenir que de permettre dans des conditions déterminées la modification des statuts existants, dont la plupart étaient muets sur le chapitre des transformations possibles ; aussi ses travaux préparatoires contenaient-ils un article très net ainsi conçu : « les dispositions qui précèdent sont applicables aux sociétés déjà constituées ».

Nous étions donc fixés sur l'effet rétroactif de toutes les dispositions de la loi nouvelle, modifiant l'article 31 de la loi du 24 juillet 1867, par conséquent sur la possibilité d'appliquer aux sociétés antérieures les modifications à l'objet et à la forme, avec les conditions prévues pour ces sortes de changements et contenues dans le deuxième paragraphe de l'article : nécessité de faire abstraction des statuts, d'admettre tous les actionnaires et de donner à chacun une voix par action ; malheureusement dans la rédaction, par une sorte d'adjonction intempestive, le législateur s'est exprimé ainsi : « les dispositions de l'article 31 (paragraphe 4) modifiées par la présente loi s'appliquent aux sociétés déjà constituées ».

Si nous ouvrons le paragraphe 4 de l'article 31, nous voyons d'abord qu'il est relatif à tous les changements autres que ceux de l'objet et de la forme, c'est-à-dire aux changements les moins graves, mais les plus fréquents, et que, d'autre part, il ordonne de suivre pour la constitution des assemblées générales les formes statutaires. Quel parti devait-on prendre ? Les uns, appliquant la loi d'une manière stricte, déclaraient péremptoirement que s'il est malheureusement permis aux législateurs de dire une absurdité, il est du devoir des simples intéressés de se conformer au texte qu'on leur présente : par conséquent, quand on transformait une société, sans toucher ni à la forme, ni à l'objet, on suivait servilement les règles posées par les statuts.

Les autres, s'inspirant de l'esprit de la loi et peut-être même du texte plus intelligemment compris, appliquaient la grande thèse qui se dégage de la loi tout entière. Le quatrième paragraphe de l'article 31 stipule que « dans tous les cas autres que ceux prévus dans le paragraphe précédent, si une première assemblée ne remplit pas les conditions ci-dessus fixées, une nouvelle assemblée peut être convoquée ». A quelles conditions ci-dessus fixées le quatrième paragraphe se rapporte-t-il ? Evidemment à celles qui sont indiquées auparavant, c'est-à-dire dans le paragraphe 3 et qui demandent, dès lors, la représentation des trois quarts du capital ; mais ce capital, dont le paragraphe 3 demande la représentation, ne peut être convoqué que d'après le deuxième article en appelant tous les actionnaires pour les faire voter.

En tout cas, dans cet imbroglio absurde, le jurisconsulte ne pouvait que dire à ses clients que, de toute façon, ils risquaient de faire une nullité.

Et, pour ce motif, nous applaudissons à cette disposition de la loi ainsi conçue : « Les dispositions de l'article 31 nouveau de la loi du 24 juillet 1867 s'appliquent aux sociétés en commandite par actions et anonymes déjà constituées sous l'empire de la loi du 24 juillet 1867. A dater de la promulgation de la présente loi seront considérées comme non recevables les actions en nullité de délibération prises par les assemblées extraordinaires antérieures à cette promulgation et sur ce qu'on y aurait observé à tort, soit les dispositions de l'ancien article 31 de la loi du 24 juillet 1867, soit celles du nouvel article de cette même loi. »

Les jurisconsultes reçoivent donc satisfaction, aussi bien ceux qui ont suivi une des thèses en présence que ceux qui ont préféré la thèse opposée.

Paul Bougault,
Avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

Législation, jurisprudence, réglementation

Loi modifiant les articles 61, 62, 63, 64, 69, 70 c, 73 et 73 b, du titre III, livre premier, du Code du Travail, chapitre IV (de la saisie-arrêt et de la cession des salaires et petits traitements.)

Cette loi, en date du 4 août 1930, est publiée au « Journal officiel » du 6 août, pages 9074 et 9075.

L'article premier stipule que le chapitre IV du livre premier du titre III du Code du Travail sera désormais intitulé : De la saisie-arrêt et de la cession des salaires des ouvriers et gens de service et des appointements des employés ou commis. Les articles 2, 3, 4, 5, 6 et 7 sont reproduits ci-dessous. Les articles 8 à 10 concernent la procédure. L'article 11 et dernier est reproduit ci-dessous.

Art. 2. — L'article 61 du livre premier du Code du Travail et de la Prévoyance sociale sera désormais rédigé comme suit :

« Les salaires des ouvriers et gens de service, les appointements des employés ou commis sont saisissables ou cessibles jusqu'à concurrence du dixième sur la portion inférieure ou égale à 15 000 fr ; du cinquième sur la portion supérieure à 15 000 fr et inférieure ou égale à 25 000 fr ; du quart sur la portion supérieure à 25 000 fr et inférieure ou égale à 40 000 fr ; du tiers sur la portion supérieure à 40 000 fr et inférieure ou égale à 60 000 fr, et sans limitation sur la portion dépassant 60 000 fr.

» Il doit être tenu compte dans le calcul de la retenue, non seulement des salaires et appointements proprement dits, mais de tous les accessoires desdits salaires ou appointements, à l'exception toutefois des indemnités déclarées insaisissables par la loi, des sommes allouées à titre de remboursement de frais exposés par l'ouvrier, employé ou commis et des allocations ou indemnités pour charges de famille. »

Art. 3. — L'article 62 du même livre sera désormais rédigé comme suit :

« En cas de cessions ou de saisies-arrêts faites pour le payement des dettes alimentaires prévues par les articles 203, 205 à 207, 212, 214, 238, 240, 301 et 356 du Code civil, le terme mensuel courant de la pension alimentaire sera chaque mois prélevé intégralement sur la portion insaisissable des salaires ou appointements.

» La portion saisissable desdits salaires ou appointements pourra, le cas échéant, être retenue en sus, soit pour sûreté des termes arriérés de la pension alimentaire et des frais, soit au profit des créanciers ordinaires, opposants ou cessionnaires.

» La même procédure s'applique aux cessions ou saisies-arrêts faites en vertu de la loi du 13 juillet 1907, relative à la contribution des époux aux charges du ménage. »

ART. 4. — L'article 63 du même livre est abrogé.

ART. 5. — Le paragraphe 2 de la section première du chapitre IV du titre III du même livre sera désormais intitulé :

« Forme de la cession et procédure de la saisie-arrêt des salaires et appointements ne dépassant pas 15 000 fr par an », et comportera avant l'article 64 un article 63 nouveau ainsi conçu :

« *Art. 63.* — La cession des salaires ou appointements qui, augmentés de leurs accessoires saisissables, à l'exception toutefois des accessoires qui, bien que saisissables, ont un caractère accidentel ou aléatoire ne dépassant pas 15 000 fr par an, ne peut être consentie que par une déclaration souscrite par le cédant en personne devant le greffe de la justice de paix de sa résidence.

» Toutefois, en cas de cession visant le remboursement des frais de transport d'ouvriers recrutés à l'étranger, la cession pourra être consentie par une mention portée au contrat de travail, dûment visé par le ministre du Travail.

» Le greffier fait mention de la déclaration sur le registre exigé par l'article 72. Il adresse, lorsqu'il en est requis par les parties ou l'une d'elles, une notification par lettre recommandée au débiteur des salaires ou appointements, ou à son représentant préposé au payement, dans le lieu où travaille le cédant.

» La retenue est opérée sur cette seule notification.

» La cession non notifiée dans le délai d'un an est périmée.

» Le cessionnaire touche directement les retenues du débiteur des salaires, sur la production d'une copie de la mention de la déclaration au registre de l'article 72.

» Toutefois, lorsque la cession est paralysée par une ou plusieurs oppositions antérieures, les sommes retenues sont versées au greffe conformément aux stipulations de l'article 69 ci-après.

ART. 6. — Le paragraphe premier de l'article 6 du même livre sera désormais rédigé comme suit :

« *Art. 64.* — La saisie-arrêt des salaires et appointements qui, augmentés de leurs accessoires saisissables, à l'exception toutefois des accessoires qui, bien que saisissables, ont un caractère accidentel ou aléatoire, ne dépassent pas 15 000 fr par an, ne peut être faite, même si le créancier a titre, qu'après un essai de conciliation. » (Le reste sans changement.)

ART. 7. — Le paragraphe 2 de l'article 69 du même livre est abrogé.

ART. 11. — Les dispositions de la présente loi sont applicables aux saisies-arrêts signifiées avant sa promulgation.

Elles ne sont pas applicables aux cessions signifiées avant sa promulgation. Ces cessions continueront à être soumises au régime en vigueur à la date de leur signification. »

Sur l'application de la législation sur les assurances sociales aux assurés à la Caisse nationale des Retraites.

Le « Journal officiel » du 25 juillet 1930 publie, page 3173 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

9356. — M. Léon Archimbaud demande à M. le ministre du Travail : 1° s'il est exact qu'en exécution de l'article 44, paragraphe 3, de la loi des assurances sociales, un employeur qui verse actuellement 10 pour 100 des salaires à la Caisse nationale des Retraites (5 pour 100 à sa charge, 5 pour 100 par retenue sur les salaires), pourra réduire ces versements d'une somme égale aux cotisations d'assurance-vieillesse ; 2° s'il est exact que cette mesure aura pour résultat une diminution sensible des retraites ainsi constituées, le taux de capitalisation prévu pour les caisses primaires étant inférieur au taux de capitalisation de la Caisse nationale des Retraites (diminution particulièrement choquante puisque les versements du patron et du salarié resteront les mêmes) ; 3° si cette conséquence n'est pas contraire à une disposition de la loi stipulant que l'institution des assurances sociales ne doit pas avoir pour conséquence une diminution des avantages dont bénéficie actuellement chacun des salariés ; 4° s'il n'y aurait pas lieu, pour concilier les deux textes ci-dessus et pour calmer les inquiétudes qui se font jour à ce sujet chez les salariés qui sont menacés de subir le préjudice indiqué, d'imposer aux caisses primaires d'assurance-vieillesse de capitaliser les fonds qui leur sont confiés à un taux au moins égal à celui de la Caisse nationale des Retraites. (Question du 12 juin 1930.)

Réponse. — 1° Il est exact qu'en exécution de l'article 44, paragraphe 3, de la loi du 5 avril 1928 modifiée, un employeur qui verse actuellement 10 pour 100 des salaires à la Caisse nationale des Retraites (5 pour 100 à sa charge, 5 pour 100 par retenue sur les salaires) pourra, d'accord avec les salariés qu'il emploie, et en cas de désaccord, conformément aux décisions d'une commission arbitrale, réduire ce versement d'une somme égale à la fraction des cotisations d'assurances sociales affectée à la constitution d'une rente viagère de vieillesse ; 2°, 3° et 4° il résulte bien du même article de la loi que l'institution des assurances sociales ne peut avoir pour conséquence, sous la réserve ci-dessus indiquée, la diminution ou la suppression des prestations de même nature déjà accordées en vertu du contrat de travail ou d'un règlement de retraites, mais cette disposition vise uniquement les prestations prévues par le contrat de travail ou le règlement de retraites, en l'espèce, les versements de 5 pour 100. Au surplus, même si ces prestations consistaient dans le service d'une retraite d'un chiffre déterminé et garanti, la disposition légale susvisée ne saurait s'appliquer que pour la partie de ladite retraite qui resterait due par l'institution patronale pour les versements qu'elle recevrait après déduction des fractions de cotisations visées au premier alinéa. Au surplus, en période transitoire, la retraite garantie par les assurances sociales restera, en tout état de cause, supérieure aux rentes correspondant aux versements effectués au compte individuel, même calculées au taux des tarifs actuellement appliqués par la Caisse nationale des Retraites (section générale). Il y a tout lieu de supposer, d'autre part, en ce qui concerne les retraites de la période normale, qu'elles bénéficieront d'un taux de capitalisation sensiblement égal à celui dont bénéficieront à la même époque les retraites constituées sous d'autres régimes légaux.

Sur les dépenses pouvant être déduites du traitement pour le calcul des impôts.

Le « Journal officiel » du 13 juin 1930, publie, page 2483 des « Débats parlementaires, Chambre des Députés », la question et la réponse qui suivent :

8803. — M. Appourchaux demande à M. le ministre du Budget si un ingénieur qui, pour se rendre au lieu de son travail est obligé de faire l'acquisition d'une voiture automobile et qui, n'ayant pu trouver de logement sur place, se trouve également dans l'obligation de prendre ses repas au restaurant, est autorisé à défalquer du montant de ses salaires, pour la déclaration de ses impôts, le total des dépenses ainsi occasionnées. (Question du 22 avril 1930.)

Réponse. — Les dépenses dont il est question sont susceptibles d'être admises en déduction pour l'établissement des impôts sur les revenus dans la mesure où elles sont directement nécessitées par l'emploi occupé, ce qui ne peut être apprécié que par le service local, sous réserve du droit de réclamation des intéressés.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 11. — 13 SEPTEMBRE 1930.

Chronique. — Commémoration du centenaire de la découverte par Faraday de l'induction électromagnétique, p. 385. — Bibliographie : Transmission networks and wave filters (Réseaux de transmission et filtres), par T.-E. SHEA, p. 386; Formulaire des produits d'entretien et spécialités industrielles de droguerie, par A. CHEMIST, p. 386; The theory of electrical artificial lines and filters (La théorie des lignes électriques artificielles et des filtres), par A.-C. BARTLETT, p. 387; Alternating current bridge methods (Emploi des méthodes de pont en courant alternatif), par B. HAGUE, p. 387; La doctrine einsteinienne devant les faits périodiques et la réfraction lumineuse. Sur l'intelligence au travail, par Marcelin DUBROCA, p. 387; Filetage rapide pour le tourneur mécanicien. Système Stroscia, par Rodolfo STROSCIA, p. 388; Calcul et construction des grues, par A. NACHTERGAL, p. 388; Guide formulaire pour la vente amiable des fonds de commerce à l'usage des vendenrs, acquéreurs, intermédiaires, par Gaston PRÉAU, p. 388.

Section scientifique et technique. — Etude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée. Atténuation du déséquilibre résultant de la mise en service (même à vide) d'une telle machine, par J. FROIDEVAUX, p. 389. — **Revues, analyses et informations :** Le problème du mécanisme de la décharge par étincelles, p. 403; Le siège de la force électromotrice dans la pile photovoltaïque, p. 404.

Section industrielle. — Etude analytique du fonctionnement de groupes électrogènes en parallèle au cours d'une variation de charge, par L. BARBILLION, p. 405. — Traces de balais sur les bagues des machines synchrones, par M. PERRIER, p. 413. — Revues, analyses et informations : Les transformateurs de mesure, p. 416.

Section économique et financière. — Assemblées générales : Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris p. 419.

Section de législation. — La désignation des pièces détachées et la question des références, par FERNAND-JACQ, p. 421.

Commémoration du centenaire de la découverte par Faraday de l'induction électromagnétique. — L'année prochaine marquera le centenaire d'une découverte qui, à la suite des immortels travaux de Volta et d'Ampère, achevait de poser les bases de l'électrotechnique pour ouvrir l'ère d'une période d'activité scientifique et industrielle si féconde en résultats tant dans l'ordre économique que social.

C'est en effet le 29 août 1831 que Faraday découvrit qu'en disposant deux bobines conductrices sur un anneau de fer doux, l'une reliée à un galvanomètre, l'autre à une pile, la fermeture et l'interruption du circuit de la bobine reliée à la pile provoquait des déviations de l'équipage du galvanomètre.

Cette mémorable expérience est relatée dans le journal de laboratoire de Faraday. Le fac-similé de la page manuscrite correspondante nous ayant été adressé par la Royal Institution of Great Britain, nous croyons intéressant d'en donner ci-après la traduction,

1. Expériences sur la production de l'électricité par le magnétisme, etc., etc.

2. Pris un anneau de fer (fer doux) de 7/8 inch d'épaisseur et de 6 inches de diamètre extérieur. Enroulé sur la moitié un grand nombre de spires de fil de cuivre, les couches étant séparées par de la toile et de la ficelle — il y avait trois longueurs de fil, chacune d'environ 24 feet de longueur et elles pouvaient être connectées pour former un ensemble ou être utilisées séparément. Appelons A ce côté de l'anneau. De l'autre côté, mais séparé par un intervalle, se trouvait enroulé du fil de cuivre en deux parties formant ensemble une longueur de 60 feet, le sens de l'enroulement étant le même que celui de la première bobine; soit B ce côté de l'anneau.

3. Pris une batterie chargée de 10 plaques de 4 square inches. Réuni les deux parties de la bobine du côté B et connecté ses extrémités par un fil de cuivre passant au-dessus d'une aiguille aimantée (3 feet de l'anneau de fer). On connectait ensuite à la batterie les extrémités d'une des longueurs de fil du côté A; on constate immédiatement un effet sensible sur l'aiguille. Elle oscille et revient à sa position initiale. En rompant la connexion du côté A avec la batterie, on a à nouveau une oscillation de l'aiguille.

4. Réuni tous les fils du côté A pour former une seule bobine et envoyé le courant de la batterie dans le tout. L'effet sur l'aiguille est beaucoup plus fort que précédemment.

5. L'effet sur l'aiguille n'est qu'une très petite partie de celui que le fil communiquant directement avec la batterie pourrait produire.

Rappelons à cette occasion que Michel Faraday, né en 1791, devint en 1814, à l'âge de vingt-deux ans, l'assistant de Sir Humphry Davy, alors professeur de chimie à la Royal Institution de Londres et auquel il devait succéder plus tard. Sa découverte du diamagnétisme et des lois de l'électrolyse, ses travaux sur la polarisation électromagnétique, enfin ses conceptions sur les lignes de force magnétique, dont Maxwell devait tirer le merveilleux parti qu'on connaît, suffiraient à eux seuls à illustrer son nom. Citons encore ses recherches sur la liquéfaction des gaz, en particulier,

la liquéfaction du chlore et ses expériences sur les solutions appelées maintenant colloïdales.

Faraday mourut le 25 avril 1867 à l'âge de soixante-quinze ans. Il était membre de la Royal Institution of Great Britain, où il a innové les séries annuelles de conférences dont la tradition s'est perpétuée sous le nom de « Faraday lectures ».

La Royal Institution of Great Britain a donc pris l'initiative de l'organisation des fêtes commémoratives du centenaire de la plus importante des découvertes de Faraday, ces fêtes se dérouleront à Londres, du 21 au 23 septembre 1931. Elle sera assistée à cette occasion par l'Institution of electrical Engineers ; de plus, la British Association for the Advancement of Science a pris ses dispositions pour tenir, à la même époque, une réunion où sera célébré le centième anniversaire de la fondation de cette société. Enfin, en raison des découvertes dont les sciences chimiques sont redevables à Faraday, le Federal Council for Chemistry participera activement à l'organisation de la section de la Faraday Exhibition organisée à l'ocoasion de ces fêtes commémoratives. Cette exposition, qui sera ouverte au public durant dix jours, à partir du 23 septembre 1931, se tiendra au Royal Albert Hall de Londres et la caractéristique de l'hommage rendu à Faraday sera la reproduction de ses expériences et la présentation des appareils dont il se servit. D'autre part, les organismes représentant les industries électriques et chimiques, en coopération avec l'Institution of electrical Engineers et le Federal Council for Chemistry mettront en œuvre, durant l'exposition, les moyens propres à illustrer l'évolution des sciences physiques et chimiques et des industries correspondantes pour toutes les branches ayant leur origine dans les travaux de Faraday. — L. V.

Bibliographie : Transmission networks and wave filters (Réseaux de transmission et filtres), par T.-E. Shea (1). — L'auteur, qui appartient aux laboratoires de la Bell Telephone à New-York, a présenté dans cet ouvrage une étude complète et détaillée des réseaux de transmission et des filtres qui est en quelque sorte une synthèse des travaux effectués à ce sujet par des ingénieurs appartenant également pour la plupart à ces laboratoires.

Dans une première partie formant introduction, l'auteur expose le rôle des réseaux de transmission et leurs différentes fonctions. Leur étude détaillée présentée dans la suite comporte trois parties consacrées, la première à l'étude des principes de la théorie de ces réseaux, la seconde à celle des filtres d'ondes et enfin, la dernière à l'analyse des ondes. L'auteur définit d'abord les termes et unités employés dans cette théorie et rappelle quelques théorèmes fondamentaux tels que le théorème de Thévenin, le théorème de la réciprocité et le principe de superposition qui sont à la base de ces études théoriques. Il examine ensuite l'action d'un réseau de transmission sur les caractéristiques d'une ligne de transmission et détermine les conditions d'équivalence de deux réseaux.

(1) Un volume, format 24 cm × 16 cm, de 470 pages avec 263 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman and Hall, 11, Henrietta Street, Covent Garden, W. C. 2, à Londres. Prix : 32 shillings.

Le chapitre suivant est consacré à l'examen des effets de réflexion et d'action mutuelle qui se produisent en cas de déséquilibre et d'impédance aux sorties du réseau, tandis que dans le dernier chapitre de cette première partie l'auteur étudie les propriétés des différents éléments qui entrent daus la constitution des réseaux de transmission.

La partie consacrée aux filtres débute par une étude des propriétés générales des réseaux constituant les filtres et des conditions qui régissent la transmission libre et l'affaiblissement. L'auteur présente ensuite une étude détaillée des différents types de sections constitutives des filtres, puis des filtres formés de plusieurs de ces sections élémentaires ; il termine par l'exposé des phénomènes de réflexion et d'action mutuelle se produisant aux sorties des filtres et, d'autre part, par la détermination et l'étude des pertes résultant de l'insertion d'un filtre dans un circuit de transmission.

En ce qui concerne la partie relative à l'analyse des ondes elle constitue une application de la décomposition en série de Fourier dans le cas d'ondes correspondant à un état stable et dans celui d'ondes correspondant à un état transitoire.

Par son ampleur et la somme de documentation qu'il représente cet intéressant ouvrage s'adresse surtout aux spécialistes des questions de transmission déjà familiarisés avec les principes élémentaires des sujets traités. — J. S.

Bibliographie : Formulaire des produits d'entretien et spécialités industrielles de droguerie, par A. Chemist (1). — On trouve dans le présent ouvrage un grand nombre de formules et recettes très modernes et pratiques choisies le plus souvent telles que l'amateur, aussi bien que le professionnel, puisse les utiliser facilement. Cela est souvent d'autant plus intéressant qu'en appliquant ces formules, on obtiendra, selon l'auteur, de nombreux produits à des prix atteignant à peine la moitié, voire le quart du prix de vente au détail.

L'auteur a cherché à recueillir en un petit ouvrage facile à consulter, non le plus grand nombre possible de formules, mais un choix le plus judicieux possible de formules pour la confection des préparations de droguerie. Un tel programme ne permettait pas de traiter à fond les questions connexes telles que le choix des matières premières ou les insuccès de fabrication, mais des indications bibliographiques sont données pour chaque genre de spécialités.

Toutes les spécialités du commerce de la droguerie et du produit chimique sont successivement passées en revue : peinture, badigeon et vernis, cires, cirages, crèmes pour chaussures et encaustiques; huiles et graisses pour métaux, pour cuirs, brillants de toutes sortes, lessives, savons, teintures et eaux à détacher, antiseptiques, désinfectants et antiparasites; engrais et spécialités agricoles ou horticoles, etc.

Signalons, parmi les produits qui intéressent plus particulièrement nos lecteurs, les peintures antirouille, les huiles lubrifiantes pour machines diverses, les graisses consistantes pour machines, les graisses antirouille, les mixtures pour empêcher les courroies de glisser ; les huiles solubles pour le travail des machines-outils, etc.

Un chapitre est consacré à la préparation et au conditionnement, traitant de l'appareillage pour le broyage, le classement, le mélange, le moulage, le remplissage, le flaconnage et le paquetage.

Cet ouvrage se termine par des indications sur les

(1) Un volume, format 22 cm × 14 cm, de 149 pages, avec 18 figures dans le texte, édité par la librairie Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : broché, 18 fr.

brevets d'invention et les marques de fabrique, sur la fabrication et la vente au détail, sur l'organisation de la vente en gros. De nombreuses indications bibliographiques complètent chaque chapitre. — R. L.

Bibliographie : The theory of electrical artificial lines and filters (La théorie des lignes électriques artificielles et des filtres), par A.-C. Bartlett (1). — Le but que s'est proposé l'auteur en rédigeant cet ouvrage est non pas d'exposer dans ses détails la théorie des lignes électriques artificielles et des filtres, mais plutôt d'en indiquer les bases et les points principaux afin de permettre au lecteur d'aborder ultérieurement l'étude des ouvrages spécialisés sur ces questions.

Sur les neuf chapitres en lesquels est divisé cet ouvrage, les trois premiers sont les plus importants ; l'auteur expose en effet plus particulièrement la théorie des lignes artificielles relativement aux réseaux en T et en Π et la théorie générale des lignes artificielles en considérant le cas de réseaux passifs formés de structures répétées ne comportant pas de symétrie électrique.

Le troisième chapitre est consacré aux réseaux en échelles et à des généralisations des lignes artificielles en T et en Π.

Dans les chapitres suivants l'auteur présente plutôt des applications de la théorie ainsi développée. Après un bref chapitre sur les réseaux équivalents considérés au point de vue des lignes artificielles, il traite plus longuement de l'assimilation des lignes artificielles aux lignes uniformes de transmission, puis les câbles téléphoniques chargés au moyen de bobines de self-inductance branchées soit en série, soit en dérivation.

Dans le chapitre consacré aux filtres l'auteur se borne, après quelques généralités, à examiner les cas les plus simples : filtre passe-bas ou filtre passe-haut à structure en T. Il établit les caractéristiques générales de transmission d'un filtre et étudie les filtres terminés par une résistance.

En raison du grand nombre de diagrammes circulaires utilisés dans la théorie des circuits, l'auteur a jugé bon d'exposer les principes des transformations homographiques et d'en montrer les applications aux réseaux électriques et aux lignes artificielles en général. L'ouvrage se termine par une théorie des amplificateurs à plusieurs étages, déduite de la méthode exposée dans un chapitre précédent sur les réseaux passifs à structures répétées.

Cet ouvrage, d'une excellente présentation typographique, sera étudié avec profit par les ingénieurs désireux d'acquérir des notions précises sur la théorie des lignes artificielles. Il servira d'introduction à l'étude des ouvrages dans lesquels le sujet est traité d'une manière approfondie. — J. S.

Bibliographie : Alternating current bridge methods (Emploi des méthodes de pont en courant alternatif), par B. Hague (2). — L'importance de l'emploi des méthodes de pont en courant alternatif pour les mesures aux basses fréquences et aux fréquences audibles des résistances, inductances et capacités a pris une importance considérable dans les laboratoires modernes. C'est pourquoi l'auteur a cru utile d'élaborer le présent ouvrage dans lequel il étudie la question sous ses aspects les plus variés.

La matière de l'ouvrage se divise en cinq chapitres : dans les deux premiers, l'auteur, après avoir retracé l'historique du principe de la mesure des résistances par les méthodes de pont, expose les notions fondamentales sur lesquelles sont basées les méthodes étudiées au cours du présent traité, notamment les applications de la théorie de la représentation symbolique des courants alternatifs. En particulier, il examine la théorie des réseaux de Maxwell, le double pont de Kelvin, etc. Le troisième chapitre est consacré aux appareils à employer dont la division en trois groupes est faite d'après l'ordre logique suivant : construction du pont, d'où l'étude des boîtes de résistances, inductances et capacités ; alimentation du pont, d'où l'étude des sources de courant alternatif ; étude des détecteurs indiquant que l'équilibre est atteint. Dans le chapitre suivant est établie la classification des réseaux de ponts. On y trouve successivement l'examen de réseaux contenant : 1, résistance et self-inductance (méthode de Maxwell et méthode de Wien) ; 2, résistance et capacitance (méthode de de Sauty, méthode de Wien, méthode de Hay, méthode de Fleming et de Dyk) ; 3, résistance, self-inductance et capacité (méthode de Maxwell, méthode d'Iliovici, méthode d'Anderson, méthode de Butterworth, méthode de Hay, etc) ; 4, résistance, self-inductance et inductance mutuelle (méthode de Felici, méthode de Maxwell et méthode de Campbell, pour la comparaison de deux inductances mutuelles, méthode de Churcher et de Danatt pour la mesure des pertes dans les grands interrupteurs dans l'huile, méthodes pour la mesure des fréquences, etc.) ; 5, résistance, self-inductance, inductance mutuelle et capacité (méthode des ponts à haute tension de Dawes et Hoover et méthode de Geyger, méthode du pont de Churcher pour la mesure des pertes dans les grands compensateurs synchrones, etc.).

Le dernier chapitre est consacré au choix d'une des méthodes précédentes et aux précautions à prendre pour son emploi. Cette étude comporte l'examen des différents groupes d'appareils et est divisée en plusieurs paragraphes se rapportant aux différentes grandeurs à mesurer (mesure de l'inductance, de la résistance d'un électrolyte, de la fréquence d'un courant, etc.). Une bibliographie complète cet intéressant ouvrage. — R. G.

Bibliographie : La doctrine einsteinienne devant les faits périodiques et la réfraction lumineuse. Sur l'intelligence au travail, par Marcelin Dubroca (1). — Cet ouvrage de philosophie scientifique constitue une étude très personnelle et d'un caractère attrayant de l'apport scientifique réalisé par Einstein. La révolution scientifique qu'il a engendrée a orienté la physique depuis vingt-cinq ans. Elle est associée à une conception métaphysique qui sera certainement toujours cultivée en fournissant aux hommes de très utiles sujets de méditation.

Le recul du temps permet maintenant de situer l'œuvre d'Einstein et de la relier à celle des précurseurs. L'ouvrage de M. Dubroca constituera probablement un jalon important dans cette recherche doctrinale.

Dans l'avant-propos intitulé « Quelques menues variations sur un thème familier : l'intelligence et ses ouvriers », l'auteur expose son point de vue sur le rôle des lecteurs, des auteurs et de l'intelligence.

La première partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude

(1) Un volume, format 22 cm × 14,5 cm, de 155 pages, édité par la librairie Chapman and Hall, 11, Henrietta street, Covent Garden, London W. C. 2. Prix : 13 sh 6 p.

(2) Un volume, format 22 cm × 14 cm, de 391 pages avec 112 figures dans le texte, édité par la librairie Isaac Pitman and sons ltd, Parker street, Kingsway, W. C. 2, à Londres. Prix : relié, 15 shillings.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 128 pages, avec 9 figures dans le texte édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris (6e). Prix : broché, 15 fr.

critique des phénomènes périodiques au point de vue des événements conjugués, des systèmes de référence et du principe de Döppler. La doctrine einsteinienne de la relativité restreinte dans ses rapports avec la réfraction de la lumière fait l'objet de la deuxième partie. Elle se subdivise en paragraphes concernant : la réfraction de la lumière à travers la surface qui sépare deux milieux en translation uniforme relative ; l'aberration et le mouvement relatif de la Terre et du Soleil.

Enfin dans sa conclusion, l'auteur examine chacun des sujets suivants : les sens et leurs impressions ; la conscience et ses modes de sentir, axiomes et formes à priori ; la raison et son jeu ; de quelques jugements sur la conscience et la raison ; la subjectivité du savoir humain. — R. L.

Bibliographie : Filetage rapide pour le tourneur mécanicien. Système Stroscia, par Rodolfo Stroscia (1). — On sait que le calcul servant à déterminer la combinaison de roues est malaisé à effectuer. Le but de cet ouvrage est précisément de faciliter ce calcul. Sa partie principale est constituée par un tableau de filetage indiquant les combinaisons binaires et quaternaires de roues permettant de réaliser un pas de vis, quels que soient le pas de vis-mère et les roues de l'assortiment dont on dispose.

La série de roues adoptée pour former la table est la plus convenable et celle qui est consacrée par l'usage. Dans cette série, les roues ont des nombres de dents multiples de cinq, et une roue supplémentaire de 127 dents permet d'obtenir les pas anglais.

Si les roues de l'assortiment dont on dispose avaient des nombres de dents multiples de 3, de 4, de 6..., le tableau serait également applicable.

La méthode pour la recherche des roues dans le tableau est simple et unique ; celui-ci donne au moins une combinaison, à deux ou quatre roues de la série susdite, qui permet de réaliser le pas de vis désiré soit exactement, soit avec une approximation tolérable, même quand une haute précision est requise.

Les limites du tableau permettent d'obtenir un pas de vis d'un vingtième à 12 fois le pas de vis-mère du tour dont on dispose.

Ajoutons que cet ouvrage contient un tableau complet de réduction de fractions de pouces anglais en millimètres, des renseignements sur les systèmes de filetage et une notice sur la manière d'utiliser le tableau de filetage. — R. L.

Bibliographie : Calcul et construction des grues, par A. Nachtergal, ingénieur S. B. I. C. P. (2). — Tous les techniciens s'occupant d'appareils de levage savent combien la pratique de cette spécialité est devenue difficile en raison de l'énorme concurrence entre constructeurs. Il faut savoir étudier rapidement les projets et, à cet effet, connaître au mieux le calcul des efforts dans les différentes parties. Le but de cet ouvrage, dont nous présentons la deuxième édition est précisément de fournir les éléments nécessaires à ces calculs.

L'auteur rappelle tout d'abord les principes de la statique élémentaire, puis aborde l'étude de la résistance des matériaux dont il expose les principales notions. Il traite ensuite de la recherche des efforts dans les barres par application de la mécanique élémentaire et des méthodes de Crémona et de Ritter.

Après ces généralités, l'auteur en fait l'application aux calculs pratiques de types de grues les plus divers. C'est ainsi qu'il envisage successivement les grues potences, les grues d'appliques, les grues cloches à point fixe, celles à fosses, etc. Les grues roulantes, vélocipèdes, à vapeur, les grues portiques, à pylône, titan, derrick, bigues et enfin les grues d'ateliers sont étudiées en détail. De très nombreuses figures et épures illustrent le texte.

Pour terminer, l'auteur donne, réunis en de nombreux tableaux, des renseignements divers concernant le calcul des grues (résistance, diamètre, poids, etc., des câbles, chaînes, etc., moment d'inertie des âmes, des cornières, des semelles, etc).

Au cours de son exposé, l'auteur n'a fait usage que des mathématiques élémentaires et des méthodes graphiques accompagnant les calculs ; c'est dire que cet ouvrage reste facilement accessible à tous. — R. G.

Bibliographie : Guide formulaire pour la vente amiable des fonds de commerce à l'usage des vendeurs, acquéreurs, intermédiaires, par Gaston Préau (1). — Cet ouvrage constitue un guide pratique, débarrassé des controverses, qui a pour but de renseigner exactement les contractants sur leurs droits et leurs obligations. Cette édition a été placée au niveau des exigences actuelles et mise à jour à la suite des modifications survenues depuis 1924.

L'élévation des charges fiscales en matière d'enregistrement a donné naissance à des contrats d'apparence moins onéreux, tels que le bail de fonds de commerce (gérance libre). La jurisprudence a taxé de nullité absolue les ventes déguisées sous forme de gérance-vente et la loi fiscale du 31 décembre 1928 a assimilé aux ventes pour la perception des droits les cessions de parts sociales dans les sociétés à responsabilité limitée n'ayant pas deux ans d'existence.

La première partie de l'ouvrage a trait à la vente amiable des fonds de commerce. Après des généralités sur le fonds de commerce et sur la détermination de sa valeur, se trouvent étudiées les formalités à remplir pour la vente, la prise de possession et le règlement. Un paragraphe est consacré au contrat de gérance-vente et à la jurisprudence ; un autre paragraphe, aux droits du vendeur et du créancier nanti, ainsi qu'aux actions éventuelles de l'acquéreur contre son vendeur.

La deuxième partie concerne l'enregistrement des actes et se subdivise en paragraphes relatifs aux sujets suivants : bail, cession de bail, cession du droit de bail, effets de commerce, cession de fonds de commerce ; insuffisance ou dissimulation, gérance. Une troisième partie est consacrée aux intermédiaires, à leurs obligations et à leurs droits.

La quatrième partie constitue un recueil de formules d'actes relatifs aux transactions à l'amiable et ayant pour but de renseigner le lecteur sur l'importance des clauses des conventions et sur l'exécution des formalités annoncées dans l'ouvrage.

Enfin la cinquième partie renferme le texte, avec commentaires, de la nouvelle loi sur les fonds de commerce, promulguée le 23 février 1928. — R. L.

(1) Un volume, format 16 cm × 12 cm, de 238 pages, édité par la librairie Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : cartonné, 16 fr.

(2) Un volume, format 16 cm × 25 cm, de 358 pages, édité par la librairie Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : relié, 85 fr.

(1) Un volume, format 25 cm × 16 cm, de 204 pages, édité par la revue « Questions prud'homales », 239, rue Saint-Martin, à Paris (3e). Prix : broché, 20 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Étude du fonctionnement d'une machine asynchrone à cage sur un réseau à charge déséquilibrée

Atténuation du déséquilibre résultant de la mise en service (même à vide) d'une telle machine

Le déséquilibre des charges d'un réseau polyphasé entraîne une dissymétrie des tensions aux bornes de l'alternateur et, de ce fait un déséquilibre des courants absorbés par les moteurs asynchrones branchés sur ce réseau. L'auteur de cet article, qui considère le cas d'un réseau triphasé, montre d'abord comment peut être déterminée la dissymétrie des tensions, si l'on connaît celle des courants; il étudie ensuite le fonctionnement de la machine asynchrone sous des tensions déséquilibrées et fait ressortir le grave inconvénient que présente ce déséquilibre au point de vue de ce fonctionnement, en ce sens qu'au courant normal absorbé par la machine asynchrone s'ajoute un courant « de déséquilibre » qui augmente la puissance perdue et l'échauffement des conducteurs. Par contre, la présence de la machine asynchrone à cage sur le réseau peut contribuer à rétablir l'équilibre en faisant disparaître, en quelque sorte, les cloisons étanches entre phases, qui existent dans les machines synchrones : c'est cette question de rôle « équilibrant » de la machine asynchrone qui fait l'objet de la dernière partie de l'article. (*)

I. **Introduction**. — Le déséquilibre de la charge sur un réseau triphasé présente des inconvénients nombreux pour la bonne marche des alternateurs. Le champ de réaction d'induit d'un alternateur qui fonctionne avec un certain déséquilibre peut se décomposer en deux champs tournant en sens inverses (1); celui de ces deux champs qui tourne en sens inverse du rotor n'existe pas lorsque la charge est équilibrée. Lorsqu'il existe, ses principales conséquences fâcheuses sont les suivantes :

1° La production d'un harmonique 3 de tension qui déforme la courbe de tension de l'alternateur;

2° L'échauffement excessif du fer des pôles et épanouissements polaires, ces derniers pouvant être portés au rouge dans certains cas;

3° Le couple pulsatoire de fréquence double de celle du courant qui entraîne des vibrations de l'alternateur et rend nécessaire, au moment de l'établissement du projet, l'adoption d'une carcasse, d'un arbre, de paliers et de fondations plus larges et plus robustes que pour un alternateur débitant sur un réseau équilibré.

Ces effets nuisibles augmentent naturellement avec l'importance du déséquilibre. Ils sont maxima pour le fonctionnement avec déséquilibre de 100 pour 100, c'est-à-dire, pour le fonctionnement monophasé.

On atténue en partie les deux premiers par l'addition d'amortisseurs sur le rotor ; mais cet artifice n'atténue pas du tout le troisième inconvénient. Si nous considérons, en effet, le cas extrême du monophasé, il est bien évident que le couple entre le rotor et le stator s'annule en même temps que le courant de celui-ci, donc

(*) La propriété des machines asynchrones qui fait l'objet du présent article est à rapprocher d'une propriété analogue étudiée autrefois par Steinmetz.

Lorsque l'on relie deux réseaux triphasés fonctionnant à des fréquences différentes par une machine asynchrone à rotor bobiné dont le stator est branché au premier réseau et le rotor au second réseau, la machine tourne naturellement à une vitesse proportionnelle à la différence des fréquences.

Supposons que l'on monte cette machine asynchrone en bout d'arbre d'une machine synchrone branchée elle-même sur l'un des deux réseaux. Les nombres des pôles des deux machines ont été calculés en fonction des fréquences des deux réseaux de telle sorte que les vitesses soient égales lorsque les fréquences des deux réseaux sont normales.

On démontre que le système ainsi constitué crée entre les deux réseaux à fréquences différentes une liaison qui affecte aussi bien les puissances actives que les puissances réactives. Il laisse automatiquement s'écouler les puissances actives aussi bien que les puissances réactives du réseau moins chargé vers le réseau le plus chargé : c'est en somme la création d'un système de vases communicants, pour les deux sortes de puissances, l'une des puissances pouvant d'ailleurs s'écouler en sens inverse de l'autre.

Diverses applications de ce système de changeur de fréquences ont été faites aux Etats-Unis, quelques-unes avec l'emploi d'une deuxième machine asynchrone et d'une machine à collecteur type Scherbius, en cascade, pour le réglage des échanges d'énergie.

Il faut se rappeler que les changeurs de fréquence ordinaires constitués par deux machines synchrones ne permettent de faire passer d'un réseau à l'autre que des puissances actives.

Dans les deux cas, liaisons entre réseaux à fréquences différentes ou liaisons entre phases d'un même réseau, la machine asynchrone crée des liaisons beaucoup plus intimes, puisqu'elles affectent non seulement les puissances actives, mais aussi les puissances réactives.

Il était bon d'attirer l'attention par ce rapprochement sur une propriété qui semble être fondamentale dans la théorie des machines asynchrones.

(1) Ce fait a été démontré dès 1895 par M. André Blondel (*L'Eclairage électrique*, 10 août 1895, t. IV, p. 241-254).

deux fois par période, et cela que le rotor comporte ou non des amortisseurs.

Ces considérations nous ont conduit à rechercher quel intérêt il y aurait à reporter l'amortisseur sur le rotor d'une machine à entrefer continu, c'est à-dire, à envisager la mise en parallèle avec l'alternateur d'une machine asynchrone à cage d'écureuil à faible entrefer (fig. 1). L'amortisseur ainsi transformé devient continu, comme l'entrefer; son fonctionnement est plus

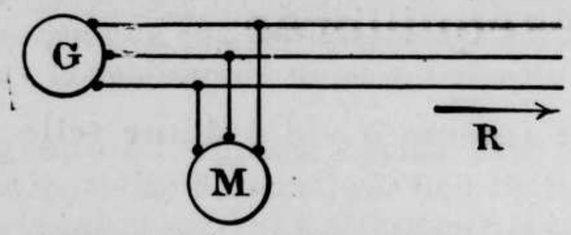


Fig 1. — Schéma du couplage d'un alternateur G et d'une machine asynchrone à cage M, sur un réseau triphasé R.

efficace pour cette raison et parce que, l'entrefer étant plus faible, le couplage entre stator et rotor est plus serré.

Nous envisagerons donc une machine asynchrone à cage, qui aura pour rôle de rééquilibrer le réseau, c'est-à-dire, de jouer le rôle de vase communicant entre les phases du réseau, aussi bien pour les puissances actives que pour les puissances réactives; elle prendra de l'énergie sur les phases où l'appel de puissance du réseau sera faible, pour l'envoyer sur les phases où l'appel d'énergie du réseau sera le plus élevé.

La machine ainsi conçue diminuera le déséquilibre dans l'alternateur; elle présentera donc le grand intérêt d'atténuer non seulement les deux premiers inconvénients signalés au début, mais aussi le troisième. Elle pourra permettre, en particulier, de diminuer suffisamment, pour les rendre admissibles, les vibrations d'un alternateur dont l'ossature et les fondations ont été prévues trop justes pour qu'il puisse supporter le déséquilibre maximum du réseau.

Nous allons donc étudier successivement :

1° Quelles sont les trois tensions en grandeur et en phase aux bornes d'un alternateur triphasé en charge déséquilibrée;

2° Quels sont les trois courants dans les enroulements d'une machine asynchrone à cage branchée sur un réseau triphasé à tensions non symétriques, c'est-à-dire, sur un réseau dont les trois tensions ne coïncident ni en grandeur, ni en phase avec trois tensions triphasées symétriques;

3° Dans quelle proportion une machine asynchrone donnée rééquilibre un alternateur donné;

4° Dans quels cas cette solution peut se défendre au point de vue économique.

En ce qui concerne ce dernier point de vue, nous pouvons remarquer, dès à présent, que l'emploi de la machine asynchrone à cage comme machine d'équilibre permettra de diminuer le prix de l'alternateur :

1° Elle permettra à un alternateur donné de débiter une puissance triphasée $\sqrt{3}$ fois plus grande que celle qu'il peut débiter en monophasé; ou bien, la puissance et le déséquilibre étant donnés, elle permettra de prévoir un alternateur plus petit;

2° Les vibrations de l'alternateur étant supprimées en grande partie, on pourra réduire la carcasse, l'arbre, les paliers, les fondations;

3° Elle permettra la suppression des amortisseurs qui sont toujours importants sur un alternateur prévu pour un fort déséquilibre;

4° Elle consommera peu de puissance réactive et sera d'un prix peu élevé parce qu'on la choisira à très grande vitesse et à entrefer très faible.

L'avantage sera d'autant plus important que le déséquilibre prévu sera plus grand et que l'alternateur sera plus lent (cas des groupes avec turbines hydrauliques pour basses chutes).

Remarque générale. — Pour la clarté des diagrammes et la facilité des démonstrations, nous serons amené à utiliser soit l'un soit l'autre des deux systèmes suivants de représentation des grandeurs périodiques triphasées :

1° La direction prise pour origine des phases est unique pour les courants et tensions de chacun des trois enroulements de la machine. Dans ce mode de représentation, un courant triphasé symétrique est représenté par trois vecteurs égaux faisant entre eux des angles de 120°;

2° On prend pour origines trois directions distinctes à 120° les unes des autres pour chacun des trois enroulements. Dans ce système, un courant triphasé symétrique est représenté par un vecteur unique. Mais ce vecteur se divise en trois autres dès qu'il y a dyssymétrie.

II. **Tensions aux bornes d'un alternateur triphasé en charge déséquilibrée**. — Nous étudierons le cas extrême d'un alternateur sans amortisseurs fonctionnant avec le déséquilibre maximum de 100 pour 100, c'est-à dire fonctionnant en monophasé. Les phases 2 et 3, par exemple, débitent seules, la phase 1 restant à vide.

A un instant donné où le courant parcourt les enroulements des phases 2 et 3 (fig. 2) dans le sens

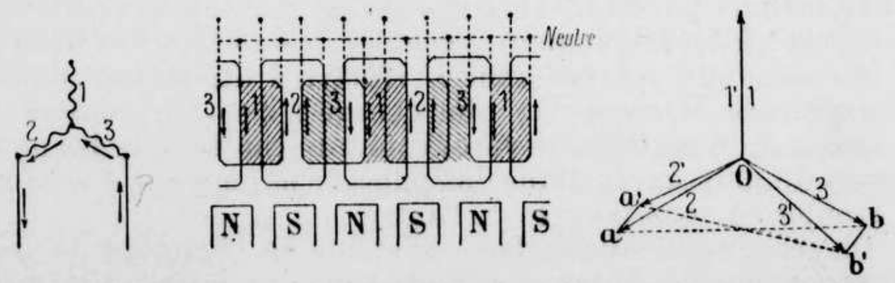


Fig. 2. — Schéma des circuits de l'induit de l'alternateur parcouru par le courant et diagramme des courants (à gauche) et des tensions (à droite) en régime monophasé.

indiqué par les flèches, on voit sur la figure 2 que le flux produit par ce courant est distribué de telle manière que toutes les bobines de la phase 1 sont traversées par un flux nul. Ceci étant vrai à chaque ins-

tant, quels que soient le sens du courant monophasé et sa grandeur, on peut en conclure que la réaction d'induit du courant monophasé qui traverse les phases 2 et 3 est sans action sur la tension aux bornes de la phase 1.

La tension aux bornes de la phase 1 reste la même que si les deux autres phases n'étaient parcourues par aucun courant.

Cherchons maintenant les tensions aux bornes des enroulements 2 et 3 en charge monophasée. Les tensions à vide aux bornes des trois enroulements sont représentées par trois vecteurs 1, 2 et 3 à 120° (système 1 de représentation). En charge, la réaction d'induit, la self-inductance et la résistance des enroulements produisent entre les bornes de sortie des phases 2 et 3 (reliées en série par le neutre) une chute de tension interne que l'on peut représenter par un vecteur $V = a'a + bb'$.

Par raison de symétrie, cette chute de tension totale des phases 2 et 3 se compose de deux chutes de tensions a'a et bb', égales en grandeur et en phase, situées l'une a'a dans l'enroulement 2, l'autre b'b dans l'enroulement 3.

Les tensions en charge aux bornes des enroulements 2 et 3 sont donc représentées par les vecteurs 2' et 3' le premier égal à $Oa + aa'$, le second, égal à $Ob + bb'$. Ainsi que nous l'avons vu, la tension en charge aux bornes de l'enroulement 1 reste la même qu'à vide.

Une charge déséquilibrée quelconque est la somme d'une charge monophasée et d'une charge triphasée équilibrée (1). La charge triphasée équilibrée modifie symétriquement les trois tensions et donne pour tensions aux bornes trois tensions symétriques. Seule, la partie monophasée de la charge introduit une dyssymétrie dans les tensions. C'est donc cette partie monophasée qui est seule à considérer dans l'étude présente.

La figure 2 donne les tensions entre bornes et neutre. On en déduit directement les tensions entre bornes (fig. 3).

$$(2' - 3') = (2 - 3) + (V)$$

$$(3' - 1') = (3 - 1) - \left(\frac{V}{2}\right)$$

$$(1' - 2') = (1 - 2) - \left(\frac{V}{2}\right).$$

On verrait de même que, lorsque les trois enroulements sont montés en triangle, une charge monophasée modifie de la même façon les tensions entre bornes ; la tension entre les bornes 2 et 3 par lesquelles passe le courant se déduit de la tension à vide par l'addition d'un vecteur V proportionnel au courant monophasé. Les tensions entre ces deux bornes et la borne 1 se déduisent des mêmes tensions à vide par l'addition du vecteur $-\frac{V}{2}$.

La figure 3 peut donc représenter les tensions entre

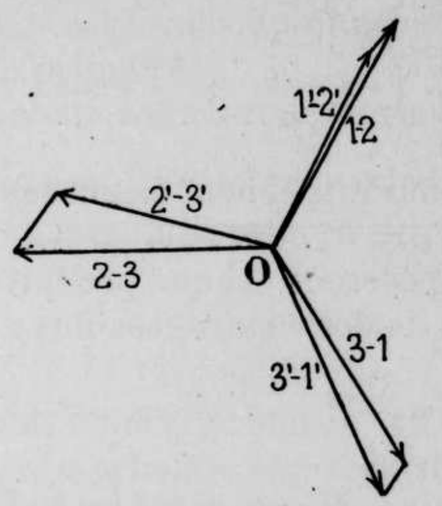


Fig. 3. — Diagramme des tensions aux bornes de l'alternateur en régime déséquilibré.

bornes, que l'alternateur soit monté en étoile ou qu'il soit monté en triangle.

III. **Fonctionnement d'une machine asynchrone triphasée à cage sur un réseau déséquilibré.** — Ainsi que nous venons de le voir, lorsque la charge du réseau est déséquilibrée, les trois tensions ne restent pas symétriques. Que deviennent les courants dans un moteur asynchrone branché sur un tel réseau ? Pour résoudre ce problème, nons rechercherons d'abord la solution de la question suivante :

Connaissant les trois courants triphasés dyssymétriques I_1, I_2 et I_3 qui parcourent les trois enroulements du stator, trouver quelles sont les trois tensions aux bornes.

A. **Connaissant les courants, trouver les tensions.** — 1. Considérations générales relatives aux flux. — Les courants I_1, I_2 et I_3 produisent trois flux Φ_1, Φ_2 et Φ_3, flux alternatifs dans l'espace, décalés de 120° les uns sur les autres, et déphasés de durées différant plus ou moins de $\frac{2\pi}{3\omega}$, suivant que la dyssymétrie est plus ou moins grande.

Prenons pour origine O dans l'espace le point de l'entrefer situé sur l'axe du flux alternatif Φ_1 et appelons α l'abscisse d'un point A de l'entrefer (fig. 4).

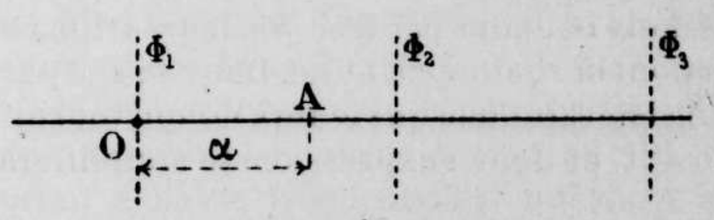


Fig. 4. — Répartition des trois flux alternatifs dans l'espace.

Nous admettrons que la répartition des flux le long de l'entrefer est sinusoïdale. Les flux produits au point A par les courants I_1, I_2 et I_3 seront donc respec-

(1) Ceci n'est vrai toutefois que si le fil neutre n'est parcouru par aucun courant, ou n'existe pas.

tivement

$$\left.\begin{aligned}\Phi_1 &= F_1 \cos(\omega t - \theta_1)\cos\alpha\\ \Phi_2 &= F_2 \cos\left(\omega t - \theta_2 - \frac{2\pi}{3}\right)\cos\left(\alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\\ \Phi_3 &= F_3 \cos\left(\omega t - \theta_3 - \frac{4\pi}{3}\right)\cos\left(\alpha - \frac{4\pi}{3}\right).\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Si les trois courants étaient triphasés symétriques on aurait $F_1 = F_2 = F_3$ et $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3$.

Nous décomposerons chaque produit de deux cosinus en une somme de deux autres cosinus :

$$\left.\begin{aligned}2\Phi_1 &= F_1[\cos(\omega t - \theta_1 - \alpha) + \cos(\omega t - \theta_1 + \alpha)]\\ 2\Phi_2 &= F_2\left[\cos(\omega t - \theta_2 - \alpha) + \cos\left(\omega t - \theta_2 + \alpha - \frac{4\pi}{3}\right)\right]\\ 2\Phi_3 &= F_3\left[\cos(\omega t - \theta_3 - \alpha) + \cos\left(\omega t - \theta_3 + \alpha - \frac{2\pi}{3}\right)\right].\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Sous cette forme, la première des équations (2) exprime que le flux Φ_1 est la somme de deux flux constants de grandeur $\frac{F_1}{2}$ tournant avec la vitesse ω, l'un dans le sens positif (parce que le cosinus contient $\omega t - \alpha$) et l'autre dans le sens négatif (parce que le cosinus contient $\omega t + \alpha$). Il en est de même des flux Φ_2 et Φ_3.

Les trois flux tournant dans un même sens se composent entre eux, pour donner finalement deux flux tournant en sens inverses l'un de l'autre ; l'un Φ_P tourne dans le sens positif

$$2\Phi_P = F_1\cos(\omega t - \alpha - \theta_1) + F_2\cos(\omega t - \alpha - \theta_2) + F_3\cos(\omega t - \alpha - \theta_3); \quad (3)$$

l'autre Φ_N tourne dans le sens négatif

$$2\Phi_N = F_1\cos(\omega t + \alpha - \theta_1) + F_2\cos\left(\omega t + \alpha - \theta_2 - \frac{4\pi}{3}\right) + F_3\cos\left(\omega t + \alpha - \theta_3 - \frac{2\pi}{3}\right). \quad (4)$$

Si les trois courants I_1, I_2 et I_3 étaient triphasés symétriques on aurait $F_1 = F_2 = F_3$ et $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3$; les trois composantes du flux Φ_N seraient donc représentées dans le temps par trois vecteurs triphasés symétriques dont la somme est nulle. Dans ce cas particulier, il ne subsisterait donc que le flux Φ_P qui tourne dans le sens positif, et dont l'expression se simplifierait

$$\Phi_P = \frac{3}{2} F_1\cos(\omega t - \alpha - \theta_1). \quad (3')$$

Nous étudierons le cas général des courants triphasés dyssymétriques ; nous nous bornerons toutefois aux cas où les valeurs de F_1, F_2, F_3, d'une part, de θ_1, θ_2, θ_3, d'autre part, sont suffisamment rapprochées entre elles pour que le flux Φ_P soit plus important que le flux Φ_N et entraîne le rotor dans le même sens que lui. Nous n'envisagerons le fonctionnement de la machine que dans le cas normal où le rotor à cage tourne à une vitesse voisine du synchronisme, c'est-à-dire à une vitesse sensiblement égale à celle du flux Φ_P et de même sens. Nous rechercherons, d'autre part, successivement les composantes de la tension dans les enroulements primaires produites par les flux inverses Φ_N et les flux directs Φ_P.

2. Etude des flux inverses dans la machine asynchrone. — 1° *Les fuites sont négligeables.* — Nous négligerons en première approximation les fuites des enroulements primaires et secondaires ; (nous appelons primaires les enroulements du stator, secondaire la cage du rotor).

Nous désignerons par $\Phi_N{}^p$ le flux produit par les courants primaires, flux que nous venons de calculer ; $\Phi_N{}^s$ le flux produit par le courant secondaire (courant dans la cage) ; et $\Phi_N{}^r$ le flux résultant des deux précédents. Puisque nous négligeons les fuites, ce flux résultant $\Phi_N{}^r$ est un flux résultant commun au primaire et au secondaire. La figure 5 est le diagramme d'espace de ces

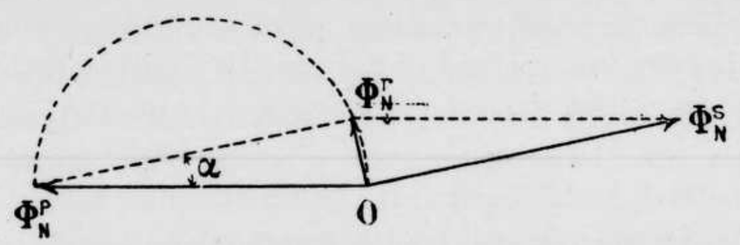


Fig. 5. — Diagramme d'espace des flux inverses du primaire et du secondaire de la machine asynchrone, les fuites du primaire et du secondaire étant négligeables.

flux ; c'est aussi un diagramme de temps pour un point quelconque de l'entrefer.

Dans le temps, le flux $\Phi_N{}^s$ est en phase avec le courant du rotor qui le produit. Dans un rotor de machine asynchrone, le courant est en quadrature avec le flux $\Phi_N{}^r$ qui le produit ; donc $\Phi_N{}^r$ et $\Phi_N{}^s$ sont en quadrature. Le courant $I_N{}^s$ dans le rotor est proportionnel à $\frac{\Phi_N{}^r \times 2\omega}{R_s}$, 2ω étant la pulsation des flux dans le rotor et R_s, la résistance de la cage ; on a

$$I_N{}^s = A\,\frac{\Phi_N{}^r \times 2\omega}{R_s};$$

$\Phi_N{}^s$ est proportionnel à $I_N{}^s$, soit

$$\Phi_N{}^s = B\,\frac{\Phi_N{}^r \times 2\omega}{R_s}$$

d'où

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Phi_N{}^r}{\Phi_N{}^s} = C \times \frac{R_s}{2\omega} \quad (5)$$

L'angle α de la figure 5 est donc d'autant plus petit que la résistance R_s du rotor est plus faible.

A cause de la valeur élevée du facteur 2ω au dénominateur, l'angle α est petit et, par suite, les flux $\Phi_N{}^p$ et

Φ_N^s sont sensiblement égaux et opposés. Nous retrouvons ainsi un résultat bien connu : la cage d'écureuil étouffe les flux qui tournent à grande vitesse par rapport à elle-même.

Le courant dans le rotor est à peu près indépendant de la valeur de R_s ; il reste sensiblement égal et opposé au courant primaire I_N^p, ramené au secondaire par le rapport de transformation. Le flux résiduel Φ_N^r est sensiblement proportionnel à la résistance R_s du rotor (formule (5)). Ce flux doit être le plus faible possible ; il faut donc que la résistance R_s soit petite. La diminution de R_s présente, en outre, l'avantage de diminuer les pertes par effet Joule dans le rotor, pertes qui lui sont proportionnelles. Nous ne considérons, bien entendu, que les courants de pulsation 2ω, c'est-à-dire, les courants produits par les flux Φ_N.

2° *Les fuites du secondaire ne sont pas négligeables.* — Reprenons la même étude des flux inverses, Φ_N, mais sans négliger les fuites du secondaire. Nous verrons que, dans ce cas, le flux résultant dans le primaire Φ_N^{rp} n'est pas nul lorsque R_s est nul, et est sensiblement indépendant de R_s lorsque R_s est petit. Nous distinguerons le flux Φ_N^{ss} produit par le secondaire à travers lui-même, et le flux $\Phi_N^{'rp}$ produit par le secondaire à travers le primaire (fig. 6).

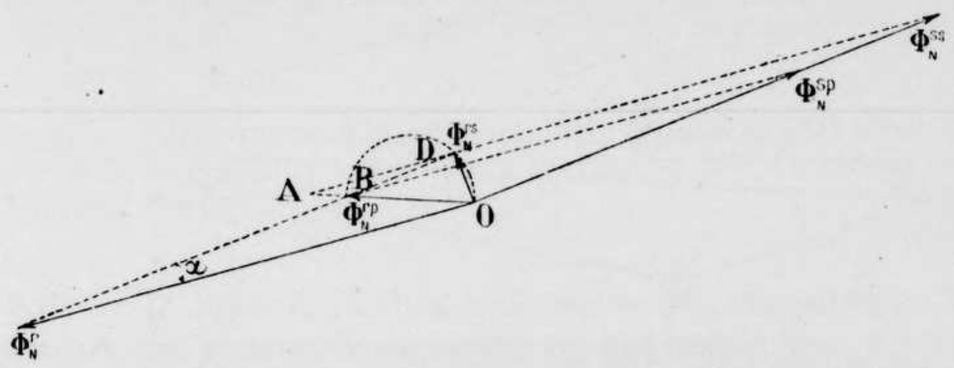


Fig. 6. — Diagramme d'espace des flux inverses de la machine asynchrone, les fuites du secondaire n'étant pas négligeables.

Nous avons déjà remarqué que l'angle α étant petit le point Φ_N^{rs} est voisin du point O.

On a, d'autre part,

$$\frac{\Phi_N^p}{\Phi_N^{rp}} = \frac{AD}{AB}.$$

Comme le point D est très voisin de O, on peut confondre les longueurs de AD et de AO et écrire

$$\frac{\Phi_N^p}{\Phi_N^{rp}} = \frac{AO}{AB}.$$

Pour tenir compte des fuites du rotor nous introduirons le coefficient d'Hopkinson ν_s relatif au secondaire

$$\nu_s = \frac{\Phi_N^{ss}}{\Phi_N^{sp}}.$$

On trouve que

$$\frac{AB}{AO} = 1 - \frac{1}{\nu_s};$$

donc

$$\frac{\Phi_N^{rp}}{\Phi_N^p} = 1 - \frac{1}{\nu_s}. \qquad (6)$$

La relation (6) nous montre que le flux résultant dans le primaire Φ_N^{rp} est beaucoup plus petit que le flux Φ_N^p produit par le primaire.

Dans un moteur asynchrone normal, ν_s est très voisin de l'unité et $1 - \frac{1}{\nu_s}$, voisin de zéro. Si, par exemple

$$1 - \frac{1}{\nu_s} = 0{,}05,$$

le flux résultant dans le primaire est 20 fois plus petit que le flux Φ_N^p du primaire lequel existerait seul s'il n'y avait pas de cage.

Pour que la cage étouffe bien les flux inverses Φ_N il y a donc intérêt à diminuer la résistance R_s du rotor et surtout les fuites entre stator et rotor. Ce couplage serré entre stator et cage du rotor sera toujours réalisé beaucoup plus parfaitement dans un moteur asynchrone rapide et à faible entrefer que dans un alternateur à large entrefer et cage discontinue. Nous admettrons par la suite que ce couplage serré entre stator et cage du rotor est réalisé et que, par suite, le flux Φ_N^{rp} résultant dans le primaire est négligeable. Et nous déterminerons les tensions dans les trois enroulements du stator en ne tenant compte que des flux Φ_P qui tournent dans le même sens que le rotor.

3. ETUDE DES FLUX DIRECTS DANS LA MACHINE ASYNCHRONE — Pour simplifier l'écriture, et puisque nous avons déjà ajouté l'indice N à tous les flux qui tournent dans le sens négatif, nous supprimerons l'indice P à côté de tous les flux qui tournent dans le sens positif, c'est-à-dire, dans le même sens que le rotor.

Nous appellerons Φ_1^{ps}, Φ_2^{ps}, Φ_3^{ps} les trois flux envoyés par les trois courants primaires à travers le secondaire. Ce sont ces trois flux que nous avions appelés simplement Φ_1, Φ_2, Φ_3 au début de cette étude. Nous appellerons de même φ_1, φ_2, φ_3 les trois flux de fuites des trois enroulements primaires.

La figure 7 est un diagramme de temps, dans le deuxième système de représentation (trois directions origines à 120° pour les trois enroulements).

D'après la formule (3), et dans ce système de représentation, le flux résultant du primaire tournant dans le sens direct est un flux Φ_c^{rp} égal à la demi-somme géométrique des trois flux Φ_1^{ps}, Φ_2^{ps}, Φ_3^{ps}.

Dans le cas où nous nous placerons tout d'abord, la machine asynchrone tourne à vide au synchronisme, le courant à basse fréquence est nul dans la cage du rotor, et le flux Φ_c^{rp} est aussi le flux résultant total dans le primaire. Il suffit d'ajouter géométriquement à ce flux les trois flux de fuites φ_1, φ_2 et φ_3 pour obtenir les trois flux résultauts Φ_1^r, Φ_2^r et Φ_3^r dans les enroulements primaires.

Les tensions aux bornes des trois enroulements pri-

maires sont proportionnelles à ces trois flux et déphasées dans le temps de 90° sur ces trois flux. Dans le même système de représentation, mais à une échelle différente, et avec trois origines décalées de 90° par

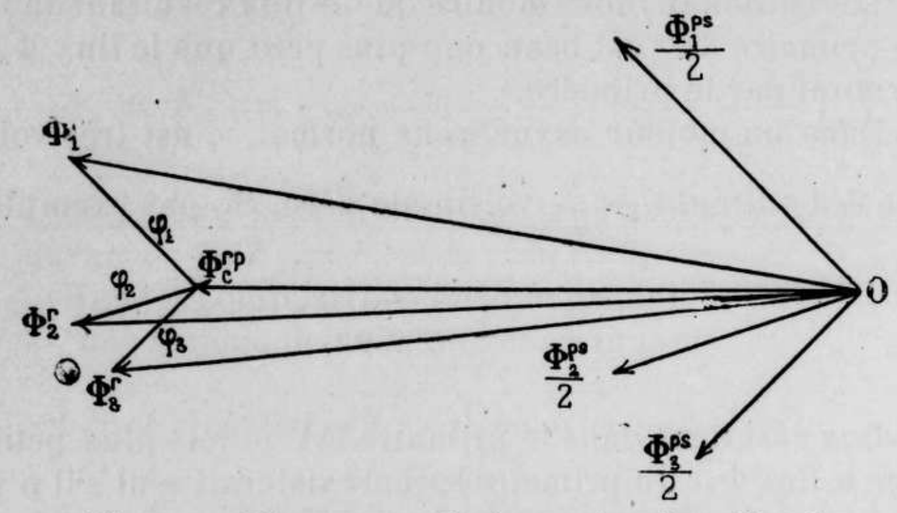


Fig. 7. — Diagramme de temps des flux directs de la machine asynchrone.

rapport aux trois directions origines des flux, les trois vecteurs Φ_1^r, Φ_2^r, Φ_3^r peuvent donc représenter les trois tensions dans chacun des trois enroulements.

Nous remarquerons que les flux de fuites φ, d'une part, les flux principaux Φ^{ps}, d'autre part, sont proportionnels en grandeur et en phase aux courants I, et par suite proportionnels entre eux. La résultante de

$$\frac{1}{2}\left[(\varphi_1)+(\varphi_2)+(\varphi_3)\right]$$

est donc proportionnelle à Φ_c^{rp} et en phase avec Φ_c^{rp}.

Nous avons résolu ainsi le problème que nous nous étions posé au début : connaissant trois courants triphasés dyssymétriques I_1, I_2, I_3 qui parcourent les trois enroulements, trouver les trois tensions entre bornes de ces enroulements. Il reste à résoudre maintenant le problème réciproque : connaissant les trois tensions, trouver les trois courants.

B. Connaissant les tensions, trouver les courants. — Pour résoudre ce problème, nous utiliserons la construction géométrique précédente (fig. 7) que nous chercherons à refaire en sens inverse :

Connaissant les trois tensions, c'est-à-dire les trois flux Φ_1^r, Φ_2^r et Φ_3^r, trouver les trois courants, c'est-à-dire, trouver les trois flux Φ_1^{ps}, $\Phi^p{}_2^s$ et Φ_3^{ps} ou, ce qui revient au même, trouver les trois flux φ_1, φ_2, φ_3.

Appelons ν_p le coefficient d'Hopkinson relatif aux fuites primaires. Par définition

$$\nu^p = \frac{\frac{3}{2}\Phi_1^{ps} + \varphi_1}{\frac{3}{2}\Phi_1^{ps}}$$

ou

$$\nu^p = 1 + \frac{2}{3}\frac{\varphi}{\Phi_1^{ps}} = 1 + \frac{2}{3}\frac{\varphi}{\Phi_2^{ps}} = 1 + \frac{2}{3}\frac{\varphi}{\Phi_3^{ps}}$$

ou

$$\frac{\varphi_1}{\Phi_1^{ps}} = \frac{3}{2}(\nu_p - 1).$$

Appelons φ_r le vecteur qui, sur la figure 7, est la somme des trois vecteurs φ_1, φ_2 et φ_3, soit

$$\varphi_r = (\varphi_1) + (\varphi_2) + (\varphi_3).$$

On a

$$\varphi_r = \frac{3}{2}(\nu_p - 1)\left[(\Phi_1^{ps}) + (\Phi_2^{ps}) + (\Phi_3^{ps})\right]$$

$$= \frac{3}{2}(\nu_p - 1) \times 2\,\Phi_c^{rp} = 3(\nu_p - 1)\Phi_c^{rp}. \qquad (7)$$

Le problème est ainsi ramené au problème géométrique suivant (fig. 8) :

Connaissant trois vecteurs OL, OM, ON de même origine O, trouver un point B tel que l'on ait

$$(BL) + (BM) + (BN) = 3(\nu_p - 1)(OB).$$

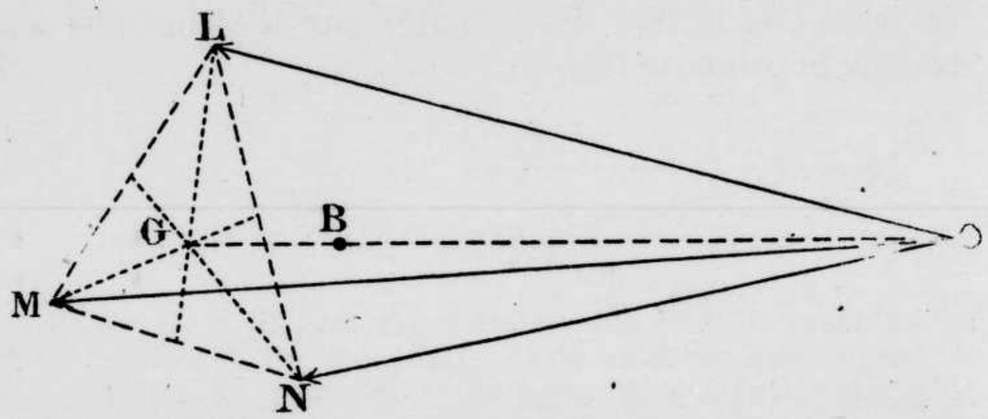


Fig. 8. — Construction graphique permettant de transformer un système de vecteurs OL, OM, ON, en un système de trois vecteurs 3 OB qui soit dans un rapport donné au premier.

Soit G le point de rencontre des trois médianes du triangle LMN. Ce point G jouit de la propriété suivante, très facile à démontrer

$$(GL) + (GM) + (GN) = 0.$$

Joignons le point G au point O et prenons sur cette droite un point B tel que

$$\frac{BG}{OB} = \nu_p - 1 \quad \text{ou} \quad BG = (\nu_p - 1)\,OB.$$

On a

$$(BL)+(BM)+(BN)=(GL)+(GM)+(GN)+3(BG)=3(BG)$$

donc

$$(BL) + (BM) + (BN) = 3(\nu_p - 1)(OB); \qquad (8)$$

le point B est bien le point cherché.

Ainsi, lorsque les trois tensions aux bornes des trois phases sont données, les points O, L, M, N, G et B sont bien déterminés ; et, par suite, les trois courants propor-

tionnels à BL, BM et BN sont bien déterminés aussi en grandeur et en phase ; ceci, bien entendu, dans le cas où le moteur asynchrone tourne à vide et où les courants à basse fréquence sont nuls dans la cage du rotor.

Cas général. — Dans le cas général (fig. 9) où le moteur asynchrone est en charge, la cage du rotor est parcourue par un courant à basse fréquence ; ce courant à basse fréquence produit un flux secondaire Φ_{ss}

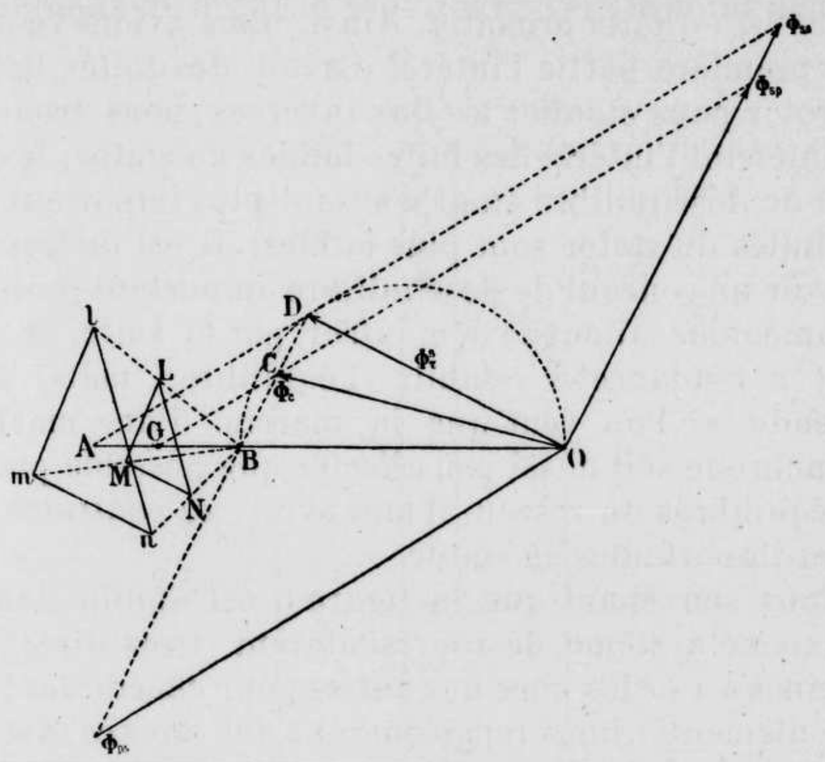


Fig. 9. — Diagramme général des flux directs et des courants de la machine asynchrone en charge sur un réseau triphasé déséquilibré.

à travers la cage et un flux secondaire Φ_{sp} légèrement plus faible à travers les enroulements primaires.

Le flux commun résultant à travers les trois enroulements primaires n'est donc plus seulement la demi-résultante Φ_{ps} des trois flux primaires $\Phi_1{}^{ps}$, $\Phi^{ps}{}_2$ et $\Phi_3{}^{ps}$, mais la somme géométrique de cette demi-résultante Φ_{ps} avec le flux du rotor Φ_{sp}. Soit Φ_c cette somme géométrique et C l'extrémité du vecteur $O\Phi_c$.

Le point G ayant été déterminé comme précédemment on a la relation

$$CG = \frac{1}{3}(CL) + (CM) + (CN) = \frac{1}{3}(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)$$

ou

$$CG = \frac{1}{2}(\nu_p - 1)\,[(\Phi_1{}^{ps}) + (\Phi_2{}^{ps}) + (\Phi_3{}^{ps})] = (\nu_p - 1)\,\Phi_{ps}. \quad (9)$$

La relation (9) rapprochée de la relation suivante déjà établie

$$BG = (\nu_p - 1) \times OB \quad (10)$$

nous montre que

$$\frac{CG}{\Phi_{ps}} = \frac{BG}{OB}.$$

Donc la droite $C\Phi_{ps}$ coupe la droite OG en un point B tel que $BG = (\nu_p - 1)\,OB$; ce point B reste fixe lorsque les courants et Φ_c varient, puisqu'il est lié au système de points fixes OLMNG.

Soit D l'extrémité du vecteur $\Phi_r{}^s$, flux résultant dans le secondaire et soit A le point de rencontre de la droite OBG avec la droite $\Phi_{ss}D$; ν_s désignant le coefficient d'Hopkinson relatif au secondaire, on a la relation

$$\nu_s = \frac{\Phi_{ss}}{\Phi_{sp}} = \frac{OA}{OG} \quad \text{ou} \quad OA = OG \times \nu_s. \quad (11)$$

Le point A est donc aussi lié au système de points fixes par la relation (11).

Des relations (10) et (11) on déduit

$$AB = OG\left(\nu_s - \frac{1}{\nu_p}\right)$$

et

$$\frac{AB}{AO} = 1 - \frac{1}{\nu_s \nu_p} = \sigma. \quad (12)$$

Nous retrouvons ainsi le coefficient de dispersion σ de la machine asynchrone.

Le courant secondaire est proportionnel à Φ_{ss} ou encore à BD, car

$$BD = \Phi_{ss} \times \frac{AB}{AO} = \sigma\Phi_{ss}$$

$$BD = \sigma\Phi_{ss} = \nu_s\sigma\Phi_{sp}. \quad (13)$$

Le vecteur BD peut donc représenter à une échelle déterminée le courant dans le rotor. Ce courant est en quadrature avec le flux résultant $\Phi_r{}^s = OD$ dans le rotor ; l'angle BDO est donc un angle droit ; le lieu du point D est un cercle de diamètre BO.

Nous retrouvons ainsi le diagramme du cercle de la machine asynchrone en charge. Ce diagramme est le même que si la machine était branchée sur un réseau à tensions triphasées symétriques, la tension triphasée symétrique étant représentée par le vecteur OG, moyenne géométrique des trois tensions dyssymétriques OL, OM et ON

$$3OG = (OL) + (OM) + (ON).$$

Les trois courants primaires sont proportionnels aux trois flux de fuites LC, MC, NC.

Pour obtenir une représentation de ces courants primaires à la même échelle que dans le diagramme habituel, nous construisons un triangle lmn homothétique au triangle LMN dans une homothétie de centre B, de rapport $\frac{BA}{BG}$. Cette transformation remplace le point C par le point D et les trois courants primaires sont représentés par les trois vecteurs lD, mD et nD parallèles et proportionnels aux précédents, LC, MC et NC.

Le flux de fuites $\varphi_1 = CL$ est proportionnel au cou-

rant dans la phase correspondante du primaire et au flux principal Φ_1^{ps} de cette phase

$$\left.\begin{aligned} &CL = \varphi_1 = (\nu_p - 1)\,\Phi_1^{ps} \\ \text{de même}\quad &CM = \varphi_2 = (\nu_p - 1)\,\Phi_2^{ps} \\ &CN = \varphi_3 = (\nu_p - 1)\,\Phi_3^{ps}. \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

On a, d'autre part,

$$Dl = CL \times \frac{BA}{BG}.$$

Or

$$\frac{BA}{BO} = \frac{\sigma}{1-\sigma}, \quad \frac{BG}{BO} = \nu_p - 1, \quad \frac{BA}{BG} = \frac{\sigma}{1-\sigma} \times \frac{1}{\nu_p - 1},$$

d'où

$$Dl = CL \times \frac{\sigma}{1-\sigma} \times \frac{1}{\nu_p - 1} = \frac{\sigma}{1-\sigma}\,\Phi_1^{ps} = \nu_p \nu_s \sigma \Phi_1^{ps}. \qquad (15)$$

Ainsi, le flux Φ_1^{ps} peut être représenté indifféremment par CL ou par Dl, le rapport de similitude étant $(\nu_p - 1)$ dans le premier cas et

$$\nu_p \nu_s \sigma = \frac{\sigma}{1-\sigma}$$

dans le deuxième cas.

En résumé, le diagramme du cercle représente encore le fonctionnement d'un moteur asynchrone lorsque celui-ci est branché sur un réseau triphasé à tensions dyssymétriques, mais les trois courants dans les trois enroulements primaires ne sont plus représentés par un vecteur unique AD, ce vecteur AD n'est plus qu'une moyenne géométrique. Les trois courants sont représentés par les trois vecteurs lD, mD, nD, les trois points l, m et n étant trois points bien déterminés pour un déséquilibre donné des trois tensions. Pour une machine asynchrone donnée, les trois points l, m, n, sont d'autant plus éloignés du point moyen A que le déséquilibre des tensions est plus important.

Nous caractériserons le déséquilibre de la tension de la phase 1 par le rapport d de la tension additionnelle GL à la tension moyenne OG,

$$d = \frac{GL}{OG}.$$

Nous caractériserons de même l'importance du courant Al de déséquilibre dans la phase 1 (Al est bien la composante de courant provoquée par le déséquilibre, puisque, s'il n'y avait pas déséquilibre, le courant lD serait remplacé par AD) par le rapport de ce courant Al au courant à vide AB de la machine asynchrone,

$$\delta = \frac{Al}{AB}$$

et nous calculerons δ en fonction de d

$$\delta = \frac{Al}{AB} = \frac{GL}{GB} = \frac{GL}{OG} \times \frac{OG}{GB} = d \times \frac{\nu_p}{\nu_p - 1},$$

$$\delta = \frac{\nu_p}{\nu_p - 1}\,d \qquad (16)$$

Cette formule (16) montre que le « courant de déséquilibre » Al est directement proportionnel à la tension de déséquilibre GL et inversement proportionnel aux fuites $(\nu_p - 1)$ du primaire. Ainsi, nous avions vu dans une première partie l'intérêt d'avoir des fuites faibles au rotor pour étouffer les flux inverses; nous trouvons maintenant l'intérêt des fuites faibles au stator, le courant de déséquilibre étant d'autant plus important que les fuites du stator sont plus faibles. Il est intéressant d'avoir un courant de déséquilibre important puisque, comme nous allons le démontrer par la suite, ce courant a tendance à rétablir l'équilibre; mais, bien entendu, si l'on veut que la marche d'une machine asynchrone soit aussi peu affectée que possible par les déséquilibres du réseau, il faut avoir, au contraire, des fuites importantes au stator.

Nous souvenant que la figure 9 est établie dans le deuxième système de représentation (trois directions origines à 120° les unes des autres pour chacun des trois enroulements), nous remarquerons que dans ce système les vecteurs parallèles à la direction OA représentent des courants déphasés de $\frac{\pi}{2}$ sur la tension, c'est-à-dire des courants réactifs, les vecteurs dirigés perpendiculairement à OA représentant des courants actifs.

Dans ces conditions, et puisque l'on a la relation géométrique

$$(Al) + (Am) + (An) = 0,$$

on peut dire que les trois courants actifs de déséquilibre ont une somme algébrique nulle, et les trois courants réactifs de déséquilibre ont une somme algébrique nulle.

Le déséquilibre provoque donc bien des échanges de puissances active et réactive entre les trois phases du stator, et ces échanges sont indépendants de l'état de charge de la machine asynchrone. Il nous reste à montrer que ces échanges ont lieu dans un sens tel qu'ils ont bien pour effet de diminuer le déséquilibre.

IV. Fonctionnement en parallèle d'une machine synchrone et d'une machine asynchrone sur un réseau déséquilibré. — Cette étude comprendra deux parties :

1° Etude des phases des courants, c'est-à-dire, étude des vecteurs qui les représentent en direction et sens seulement, abstraction faite de leur grandeur, ceci pour démontrer que les courants produits par la machine asynchrone ont bien la phase voulue pour diminuer le déséquilibre;

2° Etude des courants au point de vue de leur inten-

sité, c'est-à-dire comparaison de l'intensité des courants rééquilibrants à l'intensité de la composante monophasée du courant fourni au réseau, et recherche de la relation existant entre les constantes de la machine synchrone, celles de la machine asynchrone et la proportion de puissance rééquilibrante introduite par celle-ci.

1. Etude des phases. — Convenons de prendre pour sens positifs (fig. 10) sur les enroulements : dans l'alternateur le sens qui s'éloigne du point neutre, dans la machine asynchrone le sens qui va vers le point neutre.

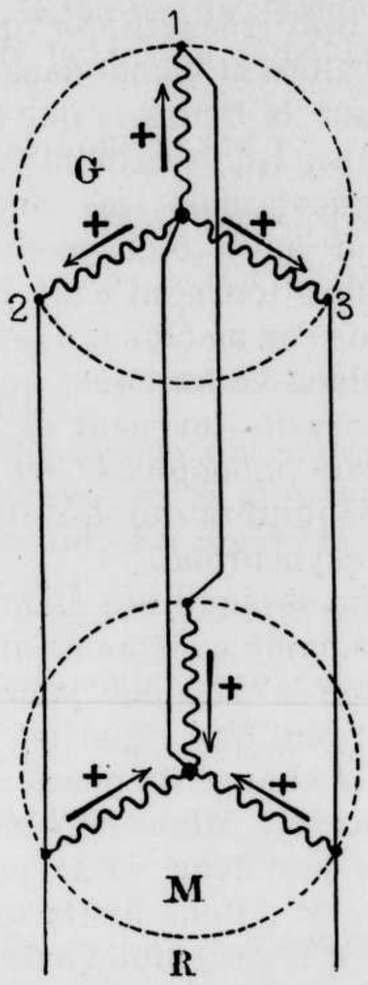


Fig. 10. — Schéma du couplage de l'alternateur G et de la machine asynchrone M, la charge du réseau étant monophasée.

Avec ces conventions, un courant débité par l'alternateur et absorbé par la machine asynchrone est représenté par le même vecteur dans les deux machines ; ce courant est en phase avec la tension et de même sens si l'alternateur fonctionne en génératrice de puissance active, et la machine asynchrone en moteur sans absorption de puissance réactive.

De même, nous conviendrons de représenter par un même vecteur les tensions entre neutre et bornes correspondantes dans la machine asynchrone et dans l'alternateur.

Ceci posé, la figure 11 représente dans le système 1 de représentation les trois tensions OM_1, OL et ON aux bornes de l'alternateur, cet alternateur débitant un courant monophasé *I* par les bornes 2 et 3. La figure 12 représente le courant monophasé OI_2, dans la phase 2 et OI_3, dans la phase 3. Avec les conventions de signes adoptées, les vecteurs OI_2 et OI_3 sont égaux et directement opposés. Ils sont en quadrature avec les chutes de tension réactives M_3L et M_2N.

Pour pouvoir appliquer la construction de la figure 9 établie au paragraphe précédent, il faut transformer, du système 1 au système 2 de représentation, les figures 11 et 12.

Pour cela il faut : faire tourner de 120° dans le sens positif le vecteur OM_3 et tous les vecteurs réprésentant

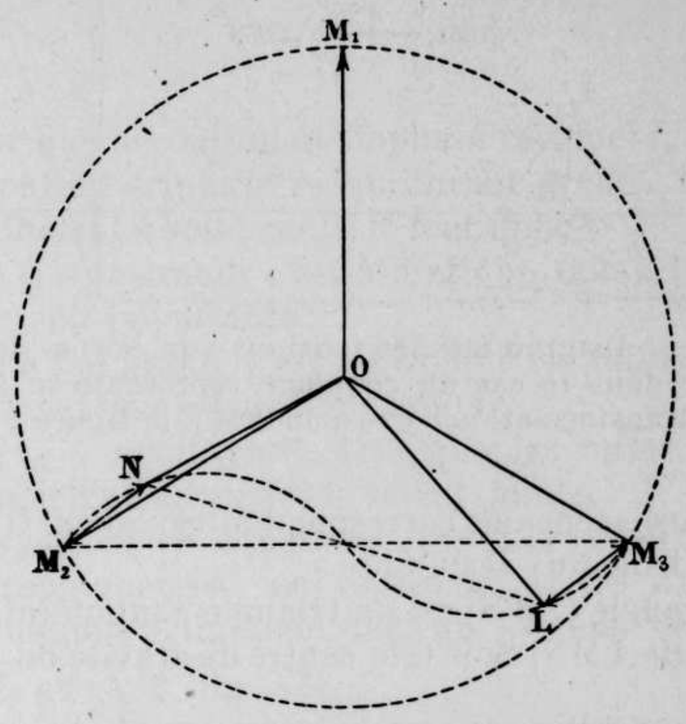


Fig. 11. — Diagramme des tensions aux bornes de l'alternateur dans le cas du couplage représenté sur la figure 10.

des grandeurs relatives à la phase 3 ; faire tourner de 120° dans le sens négatif le vecteur OM_2 et tous les vecteurs représentant des grandeurs relatives à la phase 2.

Nous représentons ainsi (fig. 13 et 14) les trois tensions à vide OM_1, OM_2 et OM_3 par un vecteur unique

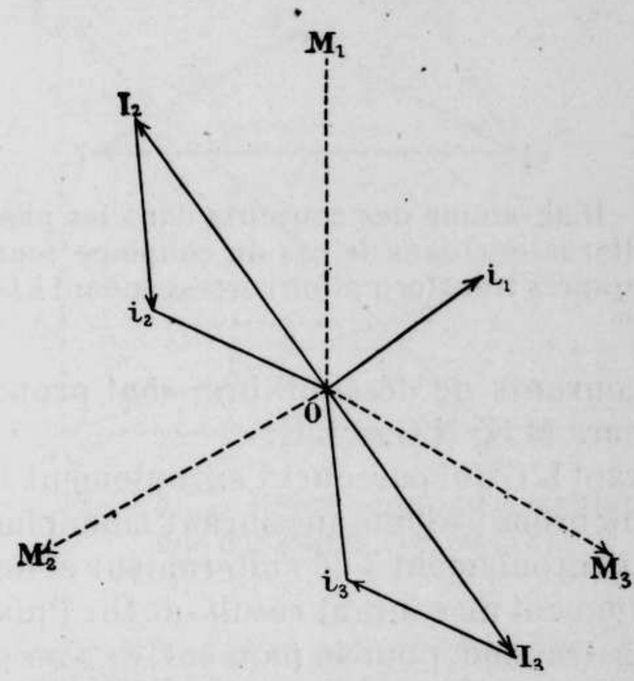


Fig. 12. — Diagramme des courants dans les phases 1, 2 et 3 de l'alternateur dans le cas du couplage représenté en figure 10.

OM, et les trois tensions en charge monophasée par les trois vecteurs voisins OM, ON et OL, les trois points L, M et N étant les sommets d'un triangle équilatéral de côté $ML = MN = M_3L = M_2N$.

De même les courants monophasés I_2 et I_3 dans les enroulements 2 et 3 de l'alternateur sont représentés dans ce deuxième système par les vecteurs égaux OI_2 et OI_3 (fig. 14) faisant entre eux un angle de 60° ; ils doivent être respectivement perpendiculaires aux côtés

MN et ML, et parallèles à M′N′ et M′L′ des triangles de la figure 13.

Les flux résultants dans les trois enroulements du stator de la machine asynchrone sont en avance de 90°

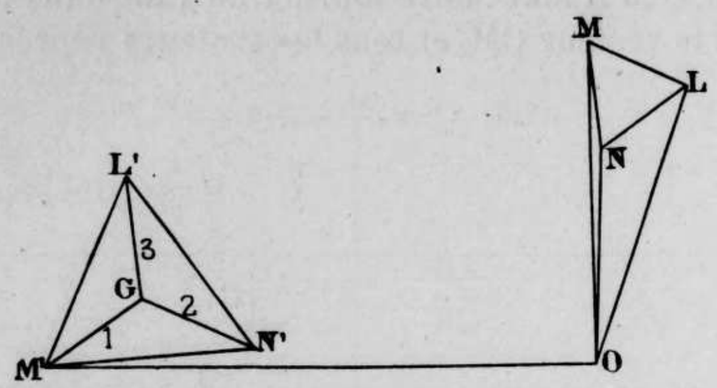


Fig. 13. — Diagramme des tensions aux bornes de l'alternateur dans le cas du couplage représenté en figure 10 après transformation correspondant à la figure 11.

sur les trois tensions correspondantes. Soient OL′, OM′, ON′ ces trois flux résultants.

Le triangle L′M′N′ est un triangle équilatéral, comme le triangle LMN. Soit G le centre de gravité du triangle L′M′N′.

Nous avons vu que les courants qui sont provoqués par le déséquilibre des tensions, et que nous avons

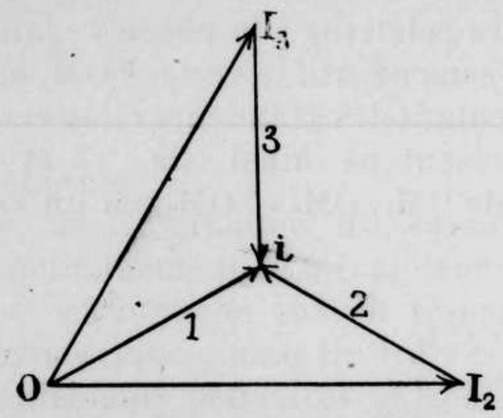


Fig. 14. — Diagramme des courants dans les phases 1, 2 et 3 de l'alternateur dans le cas du couplage représenté en figure 10 après transformation correspondant à la figure 12.

appelés courants de déséquilibre, sont proportionnels aux vecteurs M′G, N′G et L′G.

Le courant L′G qui parcourt l'enroulement 3 de la machine asynchrone s'ajoute au courant monophasé OI_3 qui parcourt l'enroulement 3 de l'alternateur et donne dans cet enroulement un courant résultant Oi. Puisque nous faisons abstraction, pour le moment, de l'amplitude de ces courants de déséquilibre, nous pouvons supposer que la machine asynchrone a été conçue de manière à donner un courant I_3i égal à $OI_3 \times \frac{\sqrt{3}}{3}$ en grandeur.

Dans ces conditions, la résultante Oi de OI_3 et L′G tombe au centre de gravité i du triangle équilatéral OI_2I_3.

De même, on trouve que le courant résultant dans l'enroulement 2 de l'alternateur est représenté par le même vecteur Oi. Enfin, le courant résultant dans l'enroulement 1 de l'alternateur est le même que dans l'enroulement 1 de la machine asynchrone, c'est M′G ou encore Oi.

Ainsi, les courants résultants dans les trois phases de l'alternateur sont représentés par un vecteur unique Oi ; ce sont trois courants triphasés symétriques correspondant à un équilibre parfait. On le voit de même sur la figure 12 que l'on complète par une transformation inverse à partir de la figure 14. Sur la figure 12, les trois courants dans les trois enroulements de l'alternateur sont représentés par les trois vecteurs triphasés symétriques Oi_1, Oi_2 et Oi_3. Il est bien certain que cet équilibrage parfait n'est que théorique, car s'il était réalisé, il n'y aurait plus dyssymétrie des tensions, et par suite plus de courants de déséquilibre dans la machine asynchrone. Pour cette raison, une machine asynchrone ne peut rééquilibrer que partiellement, et nous verrons ultérieurement dans quelle mesure.

Remarquons sur la figure 12 que les trois courants de déséquilibre Oi_1, I_2i_2 et I_3i_3 sont trois courants triphasés symétriques ; mais ces courants produisent dans l'alternateur aussi bien que dans la machine asynchrone un flux tournant dans le sens opposé au sens de rotation de ces machines. C'est ce flux tournant en sens inverse dans l'alternateur qui est directement opposé au flux parasite tournant en sens inverse produit par le courant monophasé ; et c'est ce flux des courants de déséquilibre qui est étouffé par la cage dans la machine asynchrone.

Les courants de déséquilibre étant triphasés symétriques ont une somme constamment nulle dans le fil neutre. Ce dernier n'est donc jamais parcouru par aucun courant et peut être supprimé. Lorsque le courant monophasé I change de phase sans changer de grandeur, les vecteurs ML et MN tournent ensemble sans changer de grandeur, et le point G décrit un cercle de centre M′. Pour un facteur de puissance nul, la direction M′G se confond avec la direction M′O.

2. Etude de l'importance relative des courants rééquilibrants. — Soit I_0 le courant monophasé demandé par le réseau et fourni à ce réseau par l'ensemble alternateur et machine asynchrone ; soit I_r la composante monophasée du courant débité par l'alternateur. Cette composante est inférieure à I_0 puisqu'une partie de I_0 est rééquilibrée par la machine asynchrone. Soit i la composante rééquilibrante du courant triphasé débité par la machine asynchrone. Elle transforme dans l'alternateur en courant triphasé un courant monophasé d'intensité $i\sqrt{3}$.

On a donc

$$I_r = I_0 - i\sqrt{3}. \qquad (17)$$

Ce courant rééquilibrant i est proportionnel à la composante résiduelle monophasée I_r, soit

$$i\sqrt{3} = kI_r. \qquad (18)$$

Lorsque le coefficient k sera connu, les équations (17) et (18) permettront de calculer i et I_r, si l'on connaît le courant monophasé total I_0.

C'est ce coefficient k que nous allons déterminer

en fonction des constantes de l'alternateur et de la machine asynchrone.

Nous appellerons i_0 le courant à vide ou magnétisant de la machine asynchrone ; ce sera pour nous la mesure de l'importance de cette machine.

Le courant triphasé i de rééquilibre est donné par la formule (16) établie précédemment

$$\frac{i}{i_0} = \delta = \frac{\nu_p}{\nu_p - 1} d,$$

formule dans laquelle ν_p est le coefficient de fuites ou coefficient d'Hopkinson relatif au stator de la machine asynchrone et d, la mesure du déséquilibre des tensions par le rapport de la tension additionnelle GL à la tension moyenne OG.

Sur la figure 13 nous avons

$$d = \frac{GL'}{OG} = \frac{GL'}{OM'} \times \frac{OM'}{OG}.$$

Le rapport $\frac{OM'}{OG}$ n'est pas connu, car il dépend non seulement du déphasage du courant résiduel monophasé I_r, mais aussi de la grandeur encore indéterminée de ce courant. En première approximation, on admettra donc $\frac{OM'}{OG} = 1$, ce qui n'entraînera pas une bien grande erreur, puis, ayant déterminé le courant I_r on pourra évaluer une valeur de $\frac{OM'}{OG}$ plus voisine de la réalité, et ainsi de suite, par approximations successives.

Nous poserons $\frac{OM'}{OG} = a$, étant entendu que a est voisin de l'unité, donc

$$d = a \times \frac{GL'}{OM'} = \frac{a}{\sqrt{3}} \times \frac{L'M'}{OM'} = \frac{a}{\sqrt{3}} \times \frac{LM_3}{OM_3};$$

LM_3 est la force électromotrice self-induction produite dans une phase de l'alternateur par le courant monophasé résiduel I_r ; OM_3 est la tension à vide de la même phase, soit

$$\frac{LM_3}{OM_3} = \frac{l\omega I}{U_{0r}};$$

nous poserons $b = \frac{l\omega}{U_0}$, ce rapport b ne dépendant que de l'alternateur et de son excitation supposée constante.

Ainsi

$$d = \frac{ab}{\sqrt{3}} I_r$$

et

$$\delta = \frac{i}{i_0} = \frac{\nu_p}{\nu_p - 1} \frac{ab}{\sqrt{3}} I_r$$

ou

$$i\sqrt{3} = \frac{\nu_p}{\nu_p - 1} abi_0 I_r. \qquad (19)$$

Nous avons ainsi déterminé le coefficient

$$k = \frac{\nu_p}{\nu_p - 1} abi_0.$$

Pour que le courant monophasé résiduel I_r soit faible et le courant triphasé rééquilibrant grand, il faut que le coefficient k soit grand. Il faut donc :

Que i_0 soit grand, c'est-à-dire que la machine asynchrone soit importante ;

Que b soit grand, c'est-à-dire que les fuites du stator de l'alternateur soient importantes ;

Que $\nu_p - 1$ soit petit, donc que les fuites du stator de la machine asynchrone soient faibles.

Le système des équations (17) et (18) peut se résoudre graphiquement en représentant les droites que ces équations définissent dans un système de coordonnées I_r et $i\sqrt{3}$ (fig. 15).

Le point de rencontre donne les valeurs cherchées de I_r et $i\sqrt{3}$.

On remarque de suite que, lorsque la composante monophasée I_0 varie, la droite (17) se déplace parallèlement à elle-même et le courant résiduel I_r se modifie de manière que le rapport $\frac{I_r}{I_0}$ reste constant.

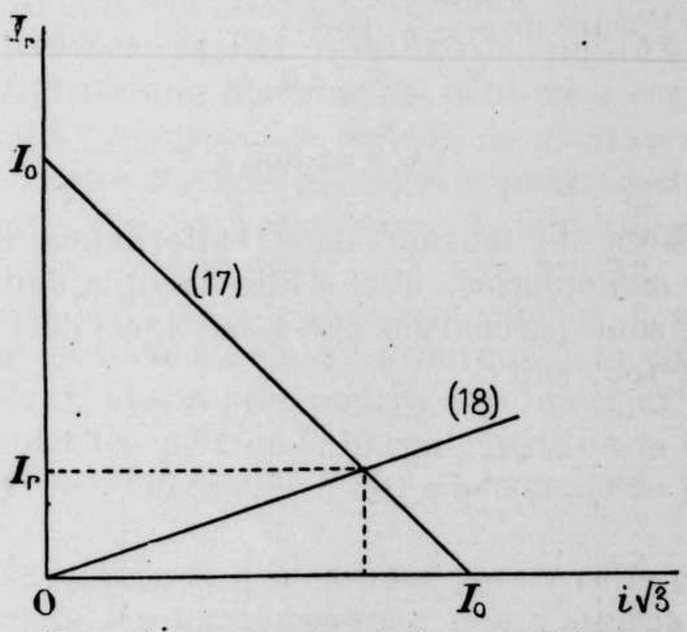


Fig. 15. — Représentation graphique des équations (17) et (18).

On déduit d'ailleurs des relations (17) et (18)

$$I_r = \frac{I_0}{1 + k}, \qquad (20)$$

$$i\sqrt{3} = \frac{kI_0}{1 + k}. \qquad (21)$$

Pour un groupe alternateur et machine asynchrone donné, le coefficient k, qui ne dépend que des constantes de ces machines, est lui-même constant. Donc,

lorsque la charge monophasée varie, la proportion de cette charge qui est rééquilibrée est une constante.

Le rapport de la charge résiduelle monophasée, dans l'alternateur, à la charge monophasée totale du réseau est constant, c'est

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{1}{1+k}.$$

3. Application numérique. — Pour avoir une idée de l'ordre de grandeur du coefficient k, nous calculerons ce coefficient en supposant que l'on mette en parallèle deux machines courantes, un alternateur et une machine asynchrone, ayant des fuites normales, et, en général, des constantes tout à fait normales.

Soit un alternateur ayant une puissance triphasée de 4 000 kv-a et pouvant débiter 2 300 kv-a en courant monophasé. Nous le supposerons à une tension de 1 000 v, ce qui facilitera les calculs, par l'égalité entre le nombre de kilovolts-ampères et le nombre d'ampères dans le système monophasé.

Nous monterons en parallèle à ses bornes une machine asynchrone à cage, à stator triphasé, d'une puissance de 2 700 kv-a, et tournant à grande vitesse.

Le courant normal de cette machine sera $\frac{2\,700}{\sqrt{3}}$ a et son courant à vide, la machine étant supposée rapide, sera de l'ordre de $\frac{800}{\sqrt{3}}$ a, soit

$$i_0\sqrt{3} = 800 \text{ a}.$$

La chute de tension dans l'alternateur en pleine charge monophasée, c'est-à-dire lorsque deux phases en série sont parcourues par 2 300 a, est de l'ordre de 33 pour 100, soit

$$\frac{l\omega I_0}{U_0} = b \times 2\,300 = 0{,}33.$$

Donc

$$bi_0 = (b \times 2\,300) \times \frac{800}{2\,300\sqrt{3}} = 0{,}33 \times \frac{800}{2\,300\sqrt{3}}.$$

Le coefficient d'Hopkinson pour le stator de la machine asynchrone de 2 700 kv-a à grande vitesse est de l'ordre de 1,025, soit

$$\nu_p = 1{,}025.$$

On en déduit

$$k = \frac{\nu_p}{\nu_p - 1}\, abi_0 = \frac{1{,}025}{0{,}025} \times 1{,}1 \times 0{,}33 \times \frac{800}{2\,300\sqrt{3}}.$$

En première approximation, on peut admettre $a = 1{,}1$ et $k = 3$.

La formule (20) donne immédiatement $I_r = \frac{I_0}{4}$.

Ainsi, le fait d'avoir monté en parallèle avec l'alternateur une machine asynchrone rapide de 2 700 kv-v suffit pour diviser par 4 la puissance monophasée qui sera demandée à l'alternateur.

Autrement dit, si le réseau demande 3 500 kv-a en courant monophasé, l'alternateur devra fournir 875 kv-a sous forme monophasée et le reste, soit 2 625 kv-a, sous forme triphasée.

La figure 16 est le diagramme des courants dans l'alternateur (premier système de représentation). L'alternateur fournit :

1° Un courant triphasé symétrique OR_1, OR_2, OR_3 de 1 515 a;

2° Un courant monophasé R_2S_2, R_3S_3 par deux bornes seulement, ce courant a une intensité de 875 a;

3° Un courant triphasé symétrique et réactif R_1T_1, S_2T_2, S_3T_3 pour l'excitation de la machine asynchrone.

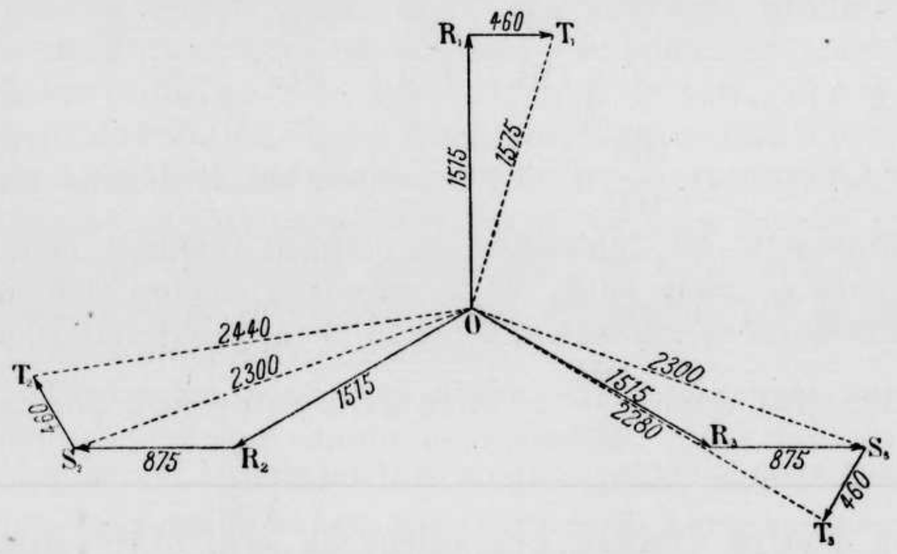


Fig. 16. — Diagramme des courants dans un alternateur triphasé de 4000 kv-a, 1 000 v, couplé avec une machine asynchrone à cage de 2 700 kv-a.

Son intensité, de 460 a, est égale à celle du courant à vide de la machine asynchrone.

Le courant total dans chacun des trois enroulements de l'alternateur est représenté par chacun des trois vecteurs résultants OT_1, OT_2, OT_3.

Si l'on fait abstraction du courant magnétisant de la machine asynchrone, le courant résultant dans les enroulements 2 et 3 de l'alternateur est de 2 300 a (pour un courant monophasé de 3 500 a fourni au réseau).

Si la machine asynchrone n'existait pas, ces mêmes enroulements 2 et 3 de l'alternateur seraient parcourus par 3 500 a, c'est-à-dire seraient en surcharge de plus de 50 pour 100 (2 300 a est le courant normal à pleine charge de l'alternateur de 4 000 kv-a en système triphasé). La machine asynchrone a donc permis d'augmenter de plus de 50 pour 100 la puissance monophasée que l'on peut demander à l'alternateur. Le diagramme de la figure 16 montre que le courant magnétisant de la machine asynchrone augmente légèrement l'intensité du courant débité par la phase 2 de l'alternateur.

Cette augmentation doit être d'autant plus sensible que le déphasage du courant fourni au réseau est lui-même plus grand. Elle est maximum lorsque S_2T_2 est en phase avec OS_2 ; à ce moment la surcharge apportée par le courant magnétisant de la machine asynchrone

égale 20 pour 100 dans l'enroulement 2 de l'alternateur et est inférieure à 20 pour 100 dans chacun des deux autres enroulements:

Pour cette raison, l'augmentation de la puissance monophasée que l'on peut demander à l'alternateur n'est pas tout à fait de 50 pour 100 ainsi que nous le disions ci-dessus, surtout si le facteur de puissance en monophasé est faible.

Le courant monophasé résiduel I_r est égal à 875 A, soit 38 pour 100 du courant normal de 2300 A dans un enroulement de l'alternateur. Or, nous avons admis que le courant normal de 2 300 A produit une force électromotrice de self-induction représentant 33 pour 100 de la tension totale. La force électromotrice MN de self-induction pour un courant de 875 A représente donc

$$0{,}33 \times 0{,}38 = 0{,}125$$

soit 12,5 pour 100 de la tension totale à vide, OM. La figure 17 est l'épure des courants dans la machine asynchrone (deuxième système de représentation)

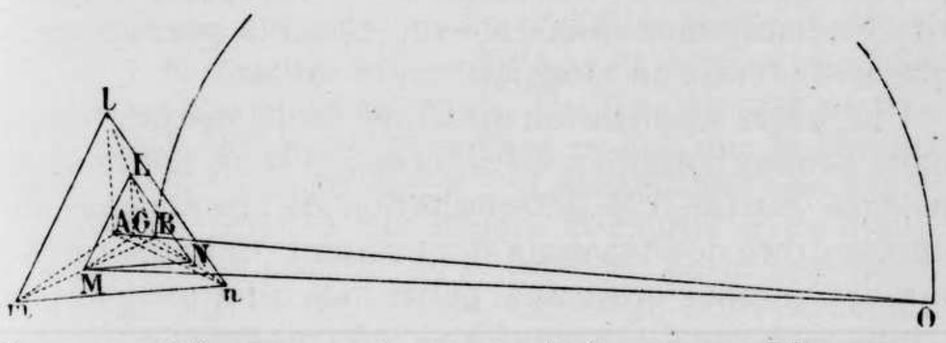


Fig. 17. — Diagramme des courants dans la machine asynchrone de 2 700 kv-A fonctionnant en régime déséquilibré.

construite avec des chutes de tension MN, ML et LN représentant 12,5 pour 100 de la tension à vide OM.

Sur cette épure, le courant magnétisant est représenté par le vecteur AB, et les courants réels dans chacun des trois enroulements du stator de la machine asynchrone par les vecteurs lB, mB et nB.

Nous savons déjà que lA = mA = nA = 1 515 A, ce qui détermine l'échelle des courants. A cette échelle AB = 460 A, et l'on trouve

$$lB = 1650\ A, \qquad mB = 1910\ A, \qquad nB = 1120\ A.$$

Ainsi, la phase 1 se trouve surchargée d'environ 20 pour 100, la phase 2, de 5 pour 100 environ, la phase 3 n'est pas à pleine charge. Le cas le plus défavorable est encore celui du fonctionnement du réseau à faible facteur de puissance; dans ce cas, mA et AB sont sensiblement en phase et s'ajoutent arithmétiquement. On trouve alors

$$mB = 1515 + 460 = 1975\ A,$$

ce qui surcharge la phase 2 de 30 pour 100.

Il serait donc prudent de prévoir une machine asynchrone plus large d'une puissance de $2700 \times 1{,}3 = 3500$ kv-A en triphasé.

Résumé. — Résumons les résultats de cet exemple numérique :

Nous avons montré que pour fournir 3500 kv-A en monophasé à un réseau on a le choix entre deux solutions :

1° L'emploi d'un alternateur monophasé 3 500 kv-A. Cet alternateur monophasé est l'équivalent d'un alternateur triphasé de 6 100 kv-A que l'on aurait très largement calculé et renforcé d'amortisseurs puissants, dont on aurait en outre augmenté la carcasse, l'arbre, les paliers, les fondations, de manière à lui permettre de supporter sans inconvénients les violentes vibrations dont il sera le siège. Il faut, en outre, remarquer que les vibrations seront plus importantes à faible fréquence (25 p:s) qu'à une fréquence élevée (50 ou 60 p:s) et que l'alternateur monophasé de 25 p:s devra être proportionnellement plus robuste que l'alternateur monophasé de 50 ou 60 p:s;

2° L'emploi d'un alternateur triphasé de 4 000 kv-A à 4 800 kv-A (suivant le facteur de puissance en monophasé). Cet alternateur fournira les trois quarts de la puissance en triphasé et le quart en monophasé. Ce déséquilibre faible peut être supporté par un alternateur triphasé normal sans amortisseurs; le couple sera presque constant et les vibrations à peu près nulles. Aucun des inconvénients que l'on rencontre sur les alternateurs monophasés, échauffements excessifs des amortisseurs et du fer des épanouissements polaires, vibrations, harmoniques de tension, ne sera plus à craindre.

Pour arriver à ce résultat, il suffira de joindre à l'alternateur triphasé une machine asynchrone à cage de 2 700 à 3 500 kv-A (suivant le facteur de puissance en monophasé): Cette machine asynchrone pourra tourner beaucoup plus vite que l'alternateur puisqu'elle sera mécaniquement indépendante; si elle tourne, par exemple, deux fois plus vite, elle sera calculée comme une machine de 1 350 à 1 750 kv-A tournant à la vitesse de l'alternateur, et son prix pourra être inférieur à la différence entre les prix de l'alternateur de 6 100 kv-A renforcé et de l'alternateur de 4 000 à 4 800 kv-A normal.

Enfin, si le lecteur veut bien nous passer cette comparaison, nous ferons remarquer que l'alternateur monophasé remplit un double rôle : il fournit, d'une part, de la puissance; il doit, d'autre part, absorber et annuler un champ pulsatoire; ces deux rôles sont tellement différents que, si l'alternateur est bien approprié au premier, il ne remplit le second que d'une façon assez médiocre, comme la table-billard ne peut être à la fois une bonne table et un excellent billard, l'alternateur monophasé ne peut être à la fois un excellent alternateur et un amortisseur parfait. Au contraire, dans la deuxième solution, les deux fonctions bien distinctes que nous venons de citer sont remplies par deux machines distinctes, chacune d'elles étant appropriée à son rôle d'une manière aussi parfaite que possible.

Nous remarquerons, pour terminer, que les résultats donnés par le calcul numérique précédent peuvent être améliorés :

Nous avons supposé que la machine asynchrone est

une machine normale, ayant des fuites normales au stator. Il est bien certain que l'on pourrait augmenter largement l'efficacité d'une machine destinée à l'équilibrage des phases, en étudiant cette machine avec des fuites au stator aussi faibles que possible.

Nous avons supposé que la machine asynchrone est montée en parallèle avec l'alternateur près des bornes de celui-ci. Mais s'il y a transmission d'énergie à distance, il y a intérêt à monter la machine asynchrone à l'extrémité de la ligne. Ceci aura pour conséquence, d'une part, de remplacer la transmission monophasée par une transmission triphasée, d'autre part, d'augmenter la self-inductance de fuites du stator de l'alternateur de toute la self-inductance de la ligne; et nous avons vu que le coefficient k est proportionnel à la self-inductance du stator de l'alternateur. Le coefficient $k = 3$ que nous avons calculé peut donc être augmenté et conduire à un rééquilibrage encore meilleur.

V. Conclusions. — Le but de l'exposé que nous venons de faire a été de montrer qu'une machine asynchrone polyphasée à cage constitue toujours un vase communicant plus ou moins parfait entre les phases du réseau sur lequel cette machine se trouve branchée. Nous avons vu que dès qu'il y a déséquilibre entre les tensions, la machine laisse passer de l'énergie d'une phase vers les autres et que le sens de cette transmission d'énergie est tel qu'elle a pour tendance de rétablir l'équilibre.

Nous avons vu que l'importance de cette transmission d'énergie est proportionnée à la puissance de la machine asynchrone, à l'importance du déséquilibre et est en raison inverse des fuites du stator de la machine asynchrone ; nous avons donné (fig. 9) une construction géométrique permettant de déterminer, en grandeur et en phase, les courants dans chacun des trois enroulements du stator de la machine, lorsque l'on connaît les trois tensions déséquilibrées.

Cette propriété générale des machines à cage fait ressortir le grave inconvénient apporté par le déséquilibre d'un réseau, dans le fonctionnement des moteurs asynchrones. Dès qu'il y a déséquilibre des tensions, il s'ajoute au courant normal de ces moteurs un courant que nous avons appelé courant de déséquilibre, qui peut faire chauffer exagérément ces moteurs sans qu'il y ait de surcharge apparente. Les courants de déséquilibre dans le moteur à cage seront d'autant plus importants que les fuites du stator de celui-ci seront plus faibles. Lorsque le moteur à cage doit fonctionner sur un réseau pouvant être plus ou moins déséquilibré, il y a donc intérêt à augmenter les fuites du stator, quitte à sacrifier le facteur de puissance du moteur et son couple de décrochage.

Cette propriété des machines à cage est un inconvénient dans la plupart des cas ; on peut cependant chercher à l'utiliser pour rééquilibrer un réseau et c'est ce qui a fait l'objet du paragraphe IV de cette étude. Nous avons vu que, dans certains cas, il peut y avoir intérêt à remplacer un alternateur monophasé, ou prévu pour un fort déséquilibre, par un alternateur triphasé prévu pour un très faible déséquilibre et combiné avec une machine asynchrone à cage rééquilibrante.

La combinaison que nous avons envisagée dans ce paragraphe IV n'est d'ailleurs pas la seule possible : on peut concevoir la marche en parallèle d'un alternateur synchrone et d'une génératrice asynchrone à cage. Le premier fournit puissance active et puissance réactive, la seconde fournit puissance active et produit l'amortissement du champ monophasé : chaque machine a son rôle propre qu'elle peut ainsi remplir beaucoup plus parfaitement. On peut imaginer aussi la superposition à la cage du rotor d'un enroulement triphasé qui sera utilisé pour fournir l'excitation de la machine asynchrone au moyen d'une excitatrice triphasée à collecteur. On crée ainsi une génératrice asynchrone qui n'emprunte pas de puissance réactive au réseau et peut même lui en fournir, tout en étant capable d'amortir le champ monophasé beaucoup plus parfaitement que ne le ferait un alternateur synchrone.

Une autre application possible de la propriété que nous venons d'étudier est la création d'un appareil de mesure destiné à la détermination de l'importance du déséquilibre des tensions d'un réseau. Cet appareil de mesure comporterait une petite machine asynchrone triphasée à cage, tournant à vide à très grande vitesse, ayant de faibles fuites au stator et un faible courant magnétisant. Dans cette petite machine asynchrone, le courant dans chacun des trois enroulements serait sensiblement égal au courant de déséquilibre. Or, nous avons vu que le courant de déséquilibre est proportionnel à la tension de déséquilibre. La mesure du courant du stator de la petite machine asynchrone sera donc une mesure du déséquilibre des tensions du réseau.

En résumé, les machines synchrones laissent des cloisons étanches entre les différentes phases, les machines asynchrones à cage, au contraire, mettent les phases en communication entre elles et laissent écouler l'énergie des unes vers les autres. Cette étude n'a eu d'autre but que d'attirer l'attention sur cette propriété et ses applications possibles ; elle permettra aux propriétaires de moteurs à cage de prendre conscience du service qu'ils rendent aux réseaux de distribution, service dont ceux-ci ne leur tiennent aucun compte, alors qu'ils les pénalisent plus ou moins pour la consommation d'énergie réactive. Peut-être serait-il juste de les dégrever en cas de fourniture de puissance rééquilibrante.

J. Froidevaux,
Ancien élève de l'Ecole polytechnique,
Ingénieur attaché à la direction de la Compagnie universelle d'Acétylène et d'Electrométallurgie.

Revues, analyses et informations

Le problème du mécanisme de la décharge par étincelles (1).

1. Introduction. — Durant de nombreuses années, la théorie du mécanisme de l'étincelle, due à Townsend, a été plus ou moins largement admise, comme décrivant l'essentiel du phénomène. Cette théorie attribue l'étincelle à un état du gaz situé entre les électrodes tel qu'il se produit une émission continuelle d'électrons au voisinage de la cathode, cette émission résultant de l'action mutuelle des ions positifs en mouvement rapide, avec d'autres molécules du gaz, ou avec la cathode.

Cependant, l'étude du mécanisme de l'étincelle franchissant à la pression atmosphérique l'intervalle compris entre électrodes planes et parallèles a conduit durant ces dernières années à un sérieux désaccord. La difficulté réside en ce fait qu'avec les champs de l'ordre de 30 000 v : cm, qui produisent d'ordinaire sous cette pression la décharge par étincelle, les ions positifs sont incapables d'acquérir en nombre suffisant l'énergie nécessaire pour produire les phénomènes requis. L'auteur du présent travail a particulièrement insisté sur ce fait que la théorie pourrait encore s'appliquer si l'on abandonnait une hypothèse gratuite relative aux champs disruptifs agissant sur les ions positifs proches de la cathode. Cette hypothèse était l'uniformité de ces champs, à l'instant de la décharge. S'il existait réellement, en raison du courant obscur précédant l'étincelle, une formation de charges spatiales produisant au voisinage de la cathode un champ assez intense pour communiquer aux ions positifs l'énergie nécessaire à l'ionisation, la théorie de Townsend pourrait être conservée. Cette suggestion semble actuellement plus ou moins reconnue.

En 1928, l'auteur montra qu'avec un champ de 30 000 v : cm, des courants d'ions positifs pourraient aisément produire le phénomène requis. Ceci le conduisit à prévoir que le mécanisme par lequel les ions positifs produisent un tel champ doit être la cause d'un retard de l'étincelle (2) au moins égal à 10^{-5} s. Rogowski est arrivé indépendamment à une conclusion similaire ; Pedersen a mesuré, d'autre part, le retard minimum de l'étincelle en se servant d'une méthode à vrai dire un peu incertaine, et son résultat est de l'ordre de 10^{-7} s. Des mesures récentes et plus directes de Rogowski, Tamm, Burroway, Torock et Beams ont montré que ce temps est de l'ordre de 10^{-8} s. On peut conclure de ce fait que ce n'est pas du côté du mouvement des ions positifs lents que l'on doit rechercher le mécanisme qui produit les charges spatiales.

2. Hypothèses de l'auteur, de von Hippel et de Franck. — L'auteur a pensé que l'on pourrait invoquer un mécanisme basé sur l'emploi des électrons en mouvement rapide dans le gaz. Deux autres chercheurs, A. von Hippel et J. Franck, ont émis, presque en même temps que l'auteur, et indépendamment, une hypothèse sensiblement analogue.

L'auteur calcule la vitesse des électrons dans le champ disruptif, soit 30 000 v : cm, en se servant des données de Townsend relatives à la mobilité des électrons dans l'air, pour des champs plus faibles. Il obtient une vitesse de 10^7 cm : s. En 10^{-8} s les électrons ne peuvent donc parcourir que 10^{-1} cm, de sorte que le mécanisme disruptif doit être à même de donner des charges spatiales appropriées près de la cathode dans lesquelles le nuage d'électrons ne parcourt que 10^{-1} cm. Mais des données de Townsend résulte que le nombre d'ions formés sur un tel parcours serait certainement insuffisant.

Von Hippell et Franck, d'autre part, ont admis des vitesses d'électrons de 10^8 cm : s dans le champ de 30 000 v : cm. Cela permet aux électrons de franchir toute la distance de 1 cm comprise entre les électrodes et de produire entre elles des charges spatiales d'une nature plus uniforme. En faisant également appel aux données de Townsend relatives au pouvoir ionisant α des électrons, ils trouvent, cependant, qu'une suite d'électrons traversant la longueur de 1 cm comprise entre les électrodes ne doit pas suffire pour donner les gradients requis. En raison des distorsions croissantes du champ dues à des suites successives d'électrons qui, chaque fois, accroissent la valeur de α, les auteurs trouvent que, après plusieurs émissions d'électrons (de 4 à 10), les champs requis pourraient être obtenus. Ce mécanisme accroît, on le voit, le temps d'établissement du régime disruptif, et le porte à 10^{-7} s et même plus, probablement à 10^{-6} s, car les auteurs ont certainement surestimé la vitesse des électrons.

3. Mécanisme de l'étincelle. — Il résulte de cette discussion que les données expérimentales actuellement à notre disposition permettent de tirer deux conclusions fondamentales concernant le mécanisme de l'étincelle sous la pression atmosphérique. Ces conclusions sont les suivantes : 1° Si l'on admet l'existence entre les électrodes de gradients de potentiel élevés et non uniformes, la théorie de Townsend suffit, en général, à rendre compte du mécanisme de l'étincelle ; 2° de tels champs peuvent être créés, dans les courts intervalles de temps observés, par un mécanisme qui repose sur la grande vitesse des électrons par rapport aux ions positifs existant durant les gradients de potentiel initialement uniformes lors de l'établissement du régime disruptif.

Cependant, les deux mécanismes proposés ci-dessus pour la production de champs intenses par des électrons en mouvement diffèrent sur certains points essentiels. C'est pourquoi il a paru indiqué à l'auteur de reviser brièvement les données quantitatives fondamentales concernant le phénomène d'établissement du régime disruptif entre électrodes parallèles sur la pression atmosphérique, en se plaçant successivement au point de vue des deux mécanismes envisagés, afin que le problème se trouve plus clairement posé. A cet effet, l'auteur étudie successivement les points suivants : 1° Ionisation par les ions positifs ; 2° valeurs de α (nombre d'ions produits sur un parcours de 1 cm par des électrons) requises pour rendre possible le mécanisme de Townsend ; 3° vitesse des électrons dans des champs intenses ; 4° Calcul des valeurs de α capables de produire des gradients élevés en 10^{-8} s ; 5° évaluation théorique de α.

(1) L.-B. Loeb. *Journal of the Franklin Institute*, juillet 1930, t. ccx, p. 15-30, 5 500 mots.

(2) Temps qui s'écoule entre l'instant où l'on établit la différence de potentiel capable de produire l'ionisation par chocs et celui où la chute rapide de potentiel indique que le gaz commence à céder, donc va livrer passage à l'étincelle.

4. Conclusions. — Cet examen critique des données actuellement existantes conduit aux conclusions suivantes :

1° Si des champs locaux non uniformes, dus à des charges spatiales, et de l'ordre de $1,5 \times 10^5$ v : cm, peuvent être créés par l'ionisation des molécules d'air par les électrons soumis à des champs uniformes de 3×10^4 v : cm ou plus, sous la pression atmosphérique, le mécanisme ultime de l'étincelle, reposant sur l'ionisation par ions positifs. et postulé par Townsend, suffit pour expliquer le phénomène de l'étincelle;

2° Ces charges spatiales doivent être édifiées dans ce champ de 3×10^4 v : cm par des électrons de vitesse ne dépassant pas $2,5 \times 10^7$ cm : s dans des périodes de temps comprises entre 10^{-8} et 10^{-7} s.

3° On peut concevoir que de tels champs soient produits par un électron franchissant des distances de l'ordre du centimètre, par le mécanisme bien connu de Townsend relatif à l'ionisation par chocs. En général cependant, les temps impliqués par cette action ne seraient pas tout à fait assez courts; peu s'en faut, cependant. Ils ne seraient en tous cas pas suffisamment réduits si l'ionisation par les électrons était aussi peu active que l'ont admis von Hippel et Franck, car alors il serait nécessaire de considérer le parcours de cette distance par plusieurs électrons successifs ;

4° Il existe une différence essentielle, mise en évidence dans le calcul des champs créés par le mouvement des électrons, entre la présente analyse et celle de von Hippel et Franck. Dans la première, on calcule les champs locaux dus à de petites accumulations de charges localisées entre les électrodes. Dans le travail cité, on étudie les gradients du potentiel en fonction du nombre d'ions formés dans le volume compris entre les électrodes par un courant initial hypothétique de photoélectrons issus de la cathode. Ce dernier calcul traite donc l'éclatement de l'étincelle comme un phénomène uniforme qui, pour le retard réel enregistré, dépend grandement du nombre initial d'ions. L'auteur est d'avis que, seul, le retard statistique de l'étincelle est sous l'influence du nombre des ions initialement présents, tandis que la valeur minimum n'est pas influencée par de telles considérations, ainsi que semble bien le montrer l'expérience.

5° Si les champs pouvaient être créés par des électrons parcourant des distances de 2 mm, l'étincelle se formant suivant des circuits fortuits reliés les uns aux autres de façon à former une chaîne continue d'ionisation s'étendant à la cathode, on pourrait aisément expliquer les points suivants :

a) La cause pour laquelle les intervalles de temps observés sont plus courts que ceux fournis par le calcul;

b) La trajectoire en zigzag de certaines étincelles;

c) Les décharges sans étincelle de Torock ;

d) La nature statistique des retards au voisinage du potentiel disruptif lorsqu'il y a peu d'ions présents;

e) L'abaissement du potentiel disruptif observé, en présence d'une photoionisation intense à la cathode;

f) Les longs intervalles de temps observés récemment aux basses pressions par Steenbeck;

g) L'indépendance du potentiel disruptif par rapport à la matière de l'électrode.

6° Le calcul montre cependant que, pour que des champs de $1,5 \times 10^5$ v : cm soient produits par des électrons parcourant des distances relativement petites, par exemple 2,5 mm, la valeur de α doit être nettement supérieure à celle calculée à partir des mesures de Townsend pour l'air à basse pression atmosphérique et pour un gradient de potentiel initial de 3×10^4 v : cm. Les valeurs α, estimées égales à 20 ou 40, doivent être multipliées par un facteur compris entre 5 et 2,5 pour rendre possible le mécanisme suggéré.

7° Une étude théorique de la nature de α montre qu'il est possible que dans des champs où les électrons gagnent environ une énergie correspondant à deux fois le produit de la charge d'un électron par 1 v, par libre parcours moyen, les valeurs de α sous la pression atmosphérique et dans un champ de 3×10^4 v : cm peuvent être nettement supérieures à celles admises à partir des données de Townsend. L'expérience seule pourra donner à ce sujet une réponse décisive. — L. B.

Le siège de la force électromotrice dans la pile photovoltaïque (1).

Il est bien connu que quand on place deux électrodes identiques dans un électrolyte convenable, l'une étant éclairée et l'autre maintenue dans l'obscurité, il se produit une force électromotrice. Goldmann a attribué le phénomène à un effet photoélectrique dû à l'éclairement de la surface de contact de l'électrode et de l'électrolyte. Mais Grumbach, en introduisant près de l'une des électrodes d'une pile non éclairée une petite quantité d'un électrolyte tout d'abord irradié, a obtenu un effet, ce qui montre que la force électromotrice produite est due, en partie tout au moins, à une modification apportée à l'électrolyte par la lumière.

Murdok, d'autre part, a établi un dispositif lui permettant d'obtenir un écoulement de l'électrolyte vers l'électrode, et de l'éclairer avant qu'il la touche, et, comme Grumbach, il trouva que l'effet était en grande partie dû à une modification de l'électrolyte. Mais il a été conduit à admettre l'existence possible d'un effet superposé à la modification photochimique, car le courant s'accroît brusquement quand le bord de l'électrode pénètre dans la région éclairée de l'électrolyte.

Le but initial du présent travail était de procéder à une étude plus complète des variations attribuables à un effet autre que l'effet photochimique. Dans ce but, l'auteur a créé un dispositif de tube à vide, lui permettant la mesure de petites différences de potentiel. Il trouve que la force électromotrice dite photoélectrique paraît se réduire à une modification de l'électrolyte par la lumière, car il n'y a pas d'indication d'un effet dû à l'éclairement direct de l'électrode ou de la surface de contact de l'électrode et de l'électrolyte.

Il a observé, en outre, que dans certaines expériences avec ces piles, les intensités de courant ne sont pas proportionnelles aux forces électromotrices. Enfin, la force électromotrice de la pile photovoltaïque croît avec la concentration de l'électrolyte. — L. B.

(1) W.-N. Lowry. *The physical Review*, 15 mai 1930, t. xxxv (1e série), p. 1270-1283, 3000 mots, 9 figures.

SECTION INDUSTRIELLE

Étude analytique du fonctionnement de groupes électrogènes en parallèle au cours d'une variation de charge

L'article qui suit a pour objet l'étude du mécanisme des perturbations qui peuvent se présenter dans le fonctionnement de deux groupes électrogènes couplés en parallèle, lors d'une variation du régime. L'auteur envisage le problème le plus général, en supposant que les machines motrices des groupes couplés sont de nature différente, tels que, d'une part, une machine à couple variable dans la période et, d'autre part, une turbomachine; il tient compte de l'influence des régulateurs qu'il regarde cependant, au cours du calcul, comme infiniment sensibles. Cette étude, d'ordre essentiellement mécanique, utilise des transformations successives des équations qui définissent le mouvement de rotation des machines couplées, transformations résultant des hypothèses faites sur la cause de la variation du régime qui provoque la perturbation considérée. Les développements établis pour le cas de deux machines peuvent s'appliquer à celui de deux ensembles de machines de nature différente, c'est-à-dire de deux usines génératrices quelconques interconnectées.

I. **Nature du problème : observations générales.** — Dans un certain nombre de nos études antérieures, et notamment dans celles publiées ici-même, nous avons examiné, avec le minimum de développements mathématiques, le problème très important du fonctionnement des groupes électrogènes en parallèle sur les réseaux, étant simplement admis que ces groupes, une fois couplés, étaient soumis à des perturbations provisoires créant des décalages de marche, ou électriques, ou mécaniques, entre les génératrices ou entre les moteurs, mais qu'en fait aucune perturbation réellement importante ou sensiblement durable n'intervenait, avec cette conséquence que les régulateurs fussent mis en route. Seule intervenait l'inertie, y compris, naturellement, celle des volants.

Dans d'autres études, nous avons approfondi le problème de la marche d'un groupe, à régulateur direct ou régulateur indirect, au cours d'une perturbation, c'est-à-dire durant la période séparant la cessation du régime initial d'équilibre des couples et l'établissement d'un nouveau régime d'équilibre de ces mêmes couples.

Nous avons enfin étudié la marche en parallèle de plusieurs groupes pourvus de régulateurs de types déterminés ; mais nous nous sommes borné, comme beaucoup d'autres auteurs du reste, à n'envisager que les conditions définitives de régulation à instituer, par action sur les caractéristiques de régulateurs, en faisant abstraction de la période de perturbation, où les lois de régime statique, en quelque sorte, $C_m = f(\omega)$, instituées par les régulateurs, ne sont plus valables.

Dans l'étude qui suit, nous examinerons au contraire ce qui se passe lorsqu'une perturbation survient, demeure, s'éteint, ou finalement se traduit par une variation de la charge primitive. Le problème, traité sous sa forme générale (c'est au fond un problème de régulation) serait évidemment d'ampleur immense ; aussi, sans restreindre la généralité de nos raisonnements, mais seulement pour alléger nos calculs, ferons-nous quelques hypothèses.

Nous admettrons d'abord que les groupes sont au nombre de deux seulement, dont l'un comportant un moteur à piston (moteur à vapeur ou moteur à gaz) et l'autre, un « turbomoteur » (turbine à vapeur ou turbine hydraulique). S'il y avait à envisager le cas de plusieurs groupes, l'ensemble des groupes à vapeur serait évidemment considéré comme équivalent à un groupe unique ; de même pour l'ensemble des groupes à turbines.

Nous supposerons encore, parfois, mais pas toujours, que les deux groupes sont de même puissance, de même vitesse et ont la même énergie cinétique. Quand il n'en sera pas ainsi, une transformation aisée permettra de porter sur la même figure les caractéristiques de régulation des deux groupes. En effet, lors de l'équilibre initial, le point figuratif M_0 de cet équilibre, donné par l'intersection des courbes intéressées, pourra être considéré comme appartenant d'abord à l'une d'elles (échelle déterminée pour les groupes et les vitesses) et aussi à l'autre (autre échelle pour les courbes et les vitesses). On comprendra mieux ci-après le mécanisme de cette représentation. Nous examinerons trois cas :

1° Celui d'une perturbation de faible durée et n'influençant pas les régulateurs ;

2° Celui d'une perturbation dépassant la limite d'action d'un seul des régulateurs et de durée quelconque ;

3° Le cas d'une perturbation mettant en jeu les deux régulateurs. Dans ce dernier cas, on pourra régler l'équilibre final de manière que les vitesses soient les mêmes, sinon en valeur absolue, au moins, les charges pouvant être différentes, dans le même rapport que lors

de l'équilibre initial (si l'on ne touche pas aux régulateurs) ou pouvant être les mêmes encore, comme définies ci-dessus, si l'on touche à l'un ou à l'autre des régulateurs, ou à tous les deux à la fois, les charges étant à nouveau ajustées égales.

Toujours dans l'hypothèse de la même variation de charge, on peut réaliser l'équilibre final de manière que les charges soient égales, les vitesses ne l'étant pas nécessairement. Dans ce cas, on peut ne pas toucher aux régulateurs. Il correspond en particulier à l'hypothèse de machines à courant continu qui peuvent très bien fonctionner accouplées sans que leurs vitesses soient identiques ; les conclusions sont inverses, naturellement, dans le cas des groupes avec alternateurs.

Les perturbations s'éteignent si les variations de charge sont elles-mêmes supprimées dans un temps suffisamment court. Dans le cas contraire, ces variations de charge constituent un nouveau régime de couples résistants auquel il faut ajuster un nouveau régime de couples moteurs. Dans ces dernières circonstances, la variation de charge ayant provoqué la perturbation sera instituée sous forme définitive.

II. Notions préliminaires. — En vue de donner le maximum de clarté possible à l'exposé qui suit et en dépit de notre vif désir de l'alléger le plus possible, il nous est indispensable de procéder à quelques rappels, tant en ce qui concerne les symboles employés que les notions dont il est fait usage. Le lecteur pourra se reporter, ou à nos publications sur la matière, ou en particulier, à une étude publiée récemment dans ces colonnes (1).

Nous considérerons ci-après des groupes pourvus de régulateurs directs et des groupes commandés par des régulateurs indirects. Dans le premier cas, il y a une relation très simple entre l'admission, e, d'une part, et la position ou hauteur du manchon, h, de l'autre, puisque le manchon commande la valve (relation pratiquement linéaire dont les coefficients sont liés aux valeurs respectives des bras de levier). Il y a également une deuxième relation entre les vitesses de régime et les positions du manchon (relation classique des régulateurs directs, type de Watt : $h = \frac{g}{\omega^2}$).

Enfin, la courbe de régulation, Γ, est obtenue par prélèvement, sur les caractéristiques mécaniques, de petits tronçons formant une ligne continue et créant ainsi une relation entre les vitesses et les couples moteurs.

Ajoutons, pour en terminer avec le régulateur direct, qu'il y a en somme proportionnalité, aux signes près, entre les variations de l'admission e, de la vitesse ω et de la hauteur du manchon h.

Bien qu'en réalité le régulateur direct, au cours d'une perturbation, gagne sa nouvelle position de régime, suivant une loi différente, $h = f(\omega)$, de celle qui préside à l'équilibre relatif, on peut, en première approximation — et c'est très suffisant — admettre que cette proportionnalité se conserve, d'où il résulte cette conséquence importante que le passage d'un régime de charge à un autre, c'est-à-dire d'une vitesse initiale à une vitesse finale de régime, s'effectue suivant une courbe d'ordonnée variant comme une exponentielle négative en fonction du temps.

Quant au régulateur direct (le tachymètre étant seul conservé), on sait que lorsqu'une perturbation naît, ce tachymètre se déforme, et, même en se déformant très peu, vient agir sur des relais de mise en route du moteur de vannage, de telle sorte que si, comme on peut l'admettre en première approximation, la vitesse de manœuvre de la vanne est constante, la loi de modification des admissions sera donnée par la formule

$$C_m = C_{max} \frac{e_0 - at}{E} = C_{max} \left(\frac{e_0}{E} - \frac{t}{\theta} \right). \qquad (I)$$

Dans cette formule, θ représente le temps qui correspond à la fermeture complète du vannage, E étant l'admission complète.

Il est bien entendu que la formule en question n'est relative qu'au premier temps de la manœuvre. Cette manœuvre cesse à partir du moment où intervient l'asservissement, c'est-à-dire avant que l'oscillation à longue période correspondant à une phase complète se soit développée. Dans le cas contraire, on aurait des oscillations incoercibles, sinon d'amplitudes croissantes.

Dans les deux cas du régulateur direct et du régulateur indirect, on supposera, pour simplifier, que les couples moteurs, C_m, sont simplement proportionnels aux admissions e, et que les couples résistants varient par sauts brusques, indépendamment des vitesses. Dans le cas d'hypothèses plus proches de la réalité, à savoir : le couple moteur est fonction des vitesses, ainsi que le couple résistant, les formules sont moins simples, mais néanmoins encore très maniables. Nous l'avons montré dans un certain nombre de publications sur ce genre de sujets (1).

Signification de $\mathfrak{T}$. — L'élément $\mathfrak{T}$, dont il sera fait ci-après le plus grand usage, est défini comme le quotient de l'énergie cinétique du groupe par la puissance maximum (de pleine charge) P_{max}, qu'il est capable de fournir, P_{max} étant la puissance utile définie par le produit $C_{max}\ \omega$. On a donc

$$\mathfrak{T} = \frac{W}{P_{max}} \qquad (II)$$

III. Etude analytique de l'effet d'une variation de charge. — A. Représentation adoptée. — Sur la même figure (fig. 1) et sur la figure 2, nous porte-

(1) L. Barbillion ; Le problème de la régulation des groupes électrogènes en parallèle au cours d'une perturbation. *Revue générale de l'Electricité*, 12 et 19 avril 1930, t. XXVII, p. 575-584 et 623-632.

(1) Voir notamment : L. Barbillion. *Leçons sur le fonctionnement des groupes électrogènes en régime troublé*, édité par la librairie Gauthier-Villars et Cie, à Paris (1915).

rons en ordonnées les rapports $\frac{C_m}{C_{max}}$, $\frac{C'_m}{C_{max}}$ de chaque moteur, et en abscisses les rapports $\frac{\omega}{\omega_0}$, $\frac{\omega'}{\omega_0}$. Nous choisirons les échelles de telle sorte que pour les points M_0, par

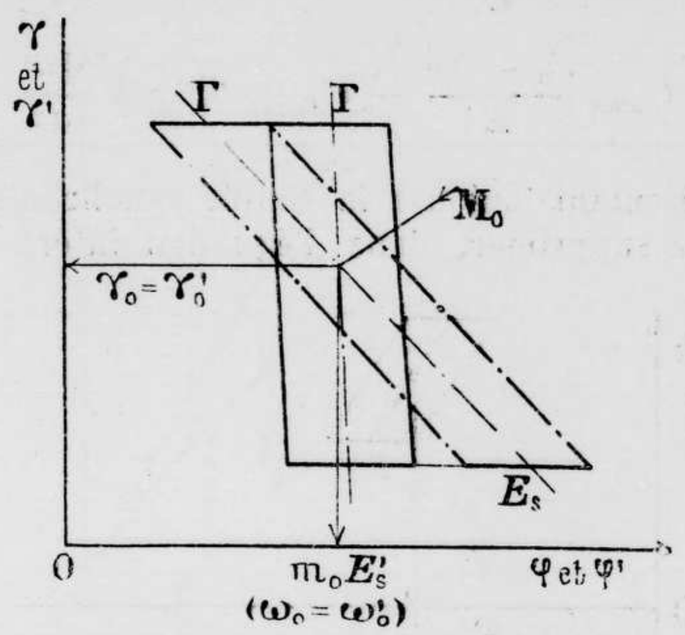


Fig. 1. — Diagramme du couplage de deux groupes électrogènes, l'un à régulateur direct, l'autre à régulateur indirect. Cas du régime établi.

exemple, (régime C_{r_0} et C'_{r0}, C_{m0} et C'_{m0}, avec $C_{m0} = C_{r0}$ et $C'_{m0} = C'_{r0}$), les deux représentations concordent.

Posons donc

$$\left.\begin{aligned} \tilde{\omega} &= \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \text{donc} \quad \varphi_0 = 1 \\ \tilde{\omega}' &= \frac{\omega'}{\omega'_0}, \quad \text{donc} \quad \varphi'_0 = 1. \end{aligned}\right\} \qquad (\alpha)$$

Les vitesses moyennes de régime sont Ω_0 et Ω'_0, toujours voisines de ω_0 et ω'_0, comme on le sait, ou encore

$$\left.\begin{aligned} \tilde{\omega} &= \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0(1+z)}{\omega_0} = (1+z) \\ \tilde{\omega}' &= \frac{\omega'}{\omega'_0} = \frac{\omega'_0}{\omega'_0}(1+z') = (1+z') \end{aligned}\right\} \qquad (\alpha')$$

dans l'hypothèse, prise pour fixer les idées, d'une augmentation de vitesse à partir de M_0 (décharge partielle ou totale des groupes).

Remarque. — On se rappellera qu'il doit être entendu, dans ce dernier cas comme dans les autres, par égalité des vitesses, celle des vitesses mécaniques, ce qui entraîne du reste la proportionnalité des vitesses ou pulsations électriques qui, pour chaque groupe, dépendent de sa constitution, soit du nombre de pôles.

B. **Premier cas : Les régulateurs des groupes ne sont pas influencés.** — Soit un moteur (C_m, ω) à piston, par exemple, et un moteur (C'_m, ω') du type turbine. Les équations de l'équilibre dynamique du mouvement varié seront, C_s représentant le couple synchronisant,

$$C_{max}\frac{e_0}{E} - C_{r_0} + \Gamma \pm C_s = K\frac{d\omega}{dt} = K\omega_0\frac{dz}{dt} \qquad (1)$$

$$C'_{max}\frac{e'_0}{E'} - C'_{r_0} + \Gamma' \mp C_s = K\omega'_0\frac{dz'}{dt}. \qquad (1')$$

Tant que les régulateurs ne seront pas influencés,

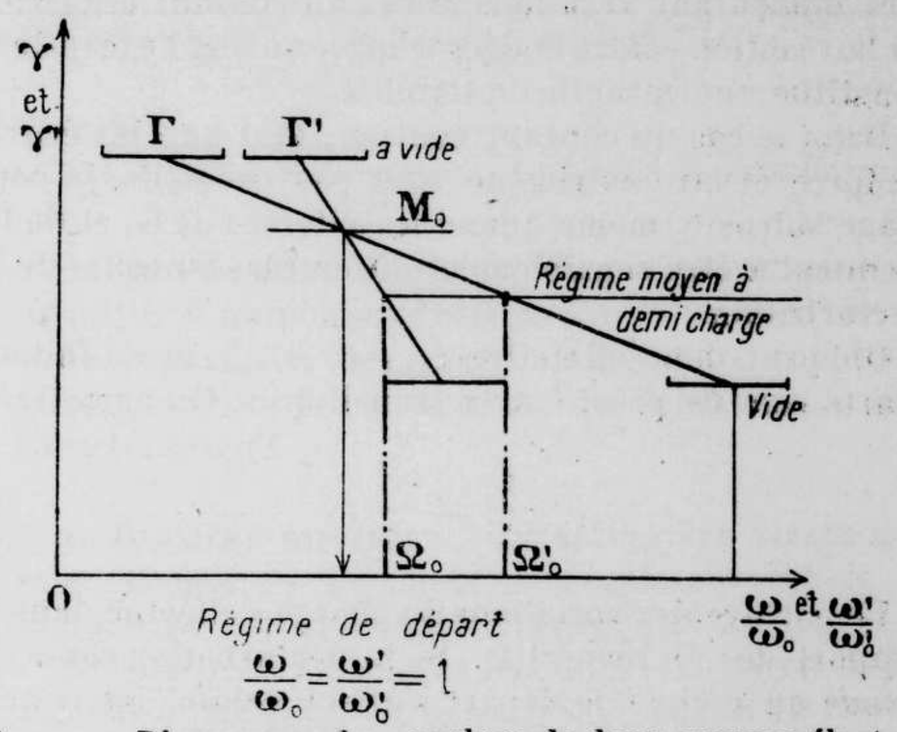


Fig. 2. — Diagramme du couplage de deux groupes électrogènes, l'un à régulateur direct, l'autre à régulateur indirect. Cas d'une variation de régime.

la variation de charge peut se représenter par la formule

$$(C_{r_0} + C'_{r_0}) - (C_r + C'_r) = \varepsilon C_{max} + \varepsilon' C'_{max} \qquad (2)$$

avec

$\Gamma = \varepsilon C_{max}$, pour le moteur de G_1,

$\Gamma' = \varepsilon' C'_{max}$, pour le moteur de G_2.

Il en résulte les deux équations

$$z = \frac{\Gamma t}{K\omega_0} = \frac{t}{2\mathcal{T}} \qquad (3)$$

$$z' = \frac{\Gamma' t}{K'\omega'_0} = \frac{t}{2\mathcal{T}'}. \qquad (3')$$

Or, on peut poser

$$\varepsilon C_{max} + \varepsilon' C'_{max} = \eta(C_{max} + C'_{max}) = 2\eta C_{1_0}$$

ce qui définit η.

La perturbation, durant le temps t_0, si les régulateurs de 1 et de 2 n'ont pas été influencés, a entraîné pour G_1 et G_2 les accroissements de vitesse relative

$$z_{max} = \frac{\varepsilon t_0}{2\mathcal{T}} \qquad (3'')$$

$$z'_{max} = \frac{\varepsilon' t_0}{2\mathcal{T}'} \qquad (3''')$$

si

$$z_{max} \leq \frac{E_s}{2} \quad \text{et} \quad z'_{max} \leq \frac{E'_s}{2},$$

E_s et E'_s étant les écarts relatifs de vitesse des groupes dus à la sensibilité des régulateurs.

Les inerties des groupes et des volants absorbent les effets de variation de vitesse. Les groupes restant couplés, on a en première approximation $z_{max} = z'_{max}$, ceci demeurant vrai dans le cas du courant alternatif où la réaction contre le décrochage, qui est l'exception, constitue une garantie de stabilité.

Dans le cas du courant continu, tant que les écarts de force électromotrice ne sont pas excessifs, le couplage subsiste, même quand les vitesses de G_1 et de G_2 viennent à être sensiblement différentes au cours de la perturbation.

On peut donc admettre $z_{max} = z'_{max}$, à de faibles écarts relatifs près, écarts transitoires. On aura donc

$$\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{T}} = \frac{\varepsilon'}{2\mathfrak{T}'}. \qquad (5)$$

Le partage des variations de charge s'effectue dans le rapport des $\mathfrak{T}$ respectifs. Si la perturbation cesse, le retour au régime de départ s'effectue dans des conditions inverses. Les points figuratifs de régime restent alignés sur la droite M_0M_1 (fig. 3).

Le retour en M_0 a lieu suivant ce même processus. On aura toujours

$$z = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad \text{et} \quad z' = \frac{\omega' - \omega'_0}{\omega'_0}.$$

Si, par exemple, le déréglage des couples C_r subsiste à l'état permanent, il en résultera une variation des

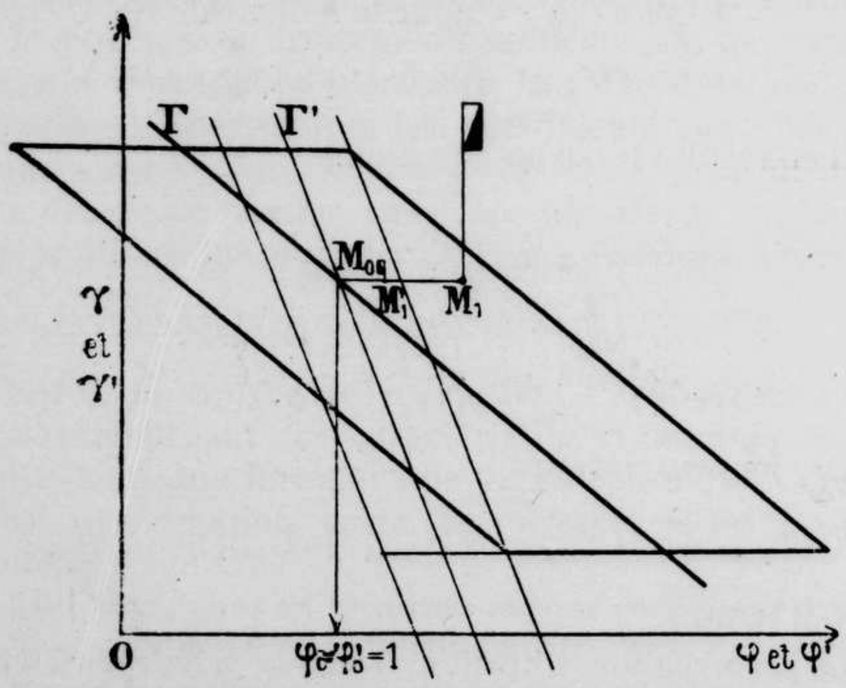


Fig. 3. — Diagramme du couplage de deux groupes électrogènes, l'un à régulateur direct, l'autre à régulateur indirect. Cas d'un régulateur direct moins sensible que le régulateur indirect.

régimes des couples moteurs qui s'ajusteront à l'intérieur des plages d'insensibilité des régulateurs correspondants.

C. Deuxième cas : La perturbation dépasse en durée θ et en importance η la limite de sensibilité de l'un des régulateurs. — Dans ce cas, l'un des régulateurs embraye et l'autre non, d'où les deux équations

$$C_{max} \frac{e_0 - \Delta e}{E} - C_{r_0} \pm C_s = K \frac{d\omega}{dt} \qquad (1'')$$

$$C'_{max} \frac{e'_0 - \Delta e'}{E'} - C'_{r_0} \mp C_s = K' \frac{d\omega'}{dt}, \qquad (1''')$$

C_s représentant toujours le couple synchronisant. I suffit de supprimer, dans l'équation intéressant le

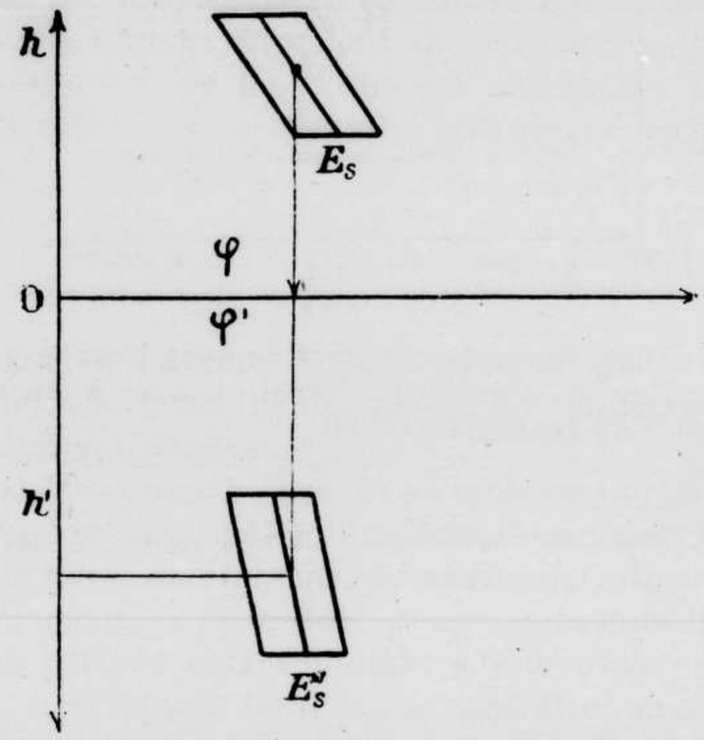


Fig. 4. — Diagramme du couplage de deux groupes électrogènes, l'un à régulateur direct, l'autre à régulateur indirect. Plage de sensibilité et de réglage des régulateurs direct et indirect.

groupe dont le régulateur n'est pas influencé, l'accroissement d'admission pour tenir compte de ce fait que le régulateur n'a pas encore embrayé.

Le régulateur direct est généralement donné comme devant être plus sensible que celui du groupe à turbine. On prendrait alors $E_s \leq E'_s$ (fig. 4 et 5).

Quelquefois, on adopte une répartition inverse des sensibilités. En fait, la régulation indirecte n'est pas facile à arrêter, une fois mise en route, sur le nouveau régime à instituer. Le régulateur direct est beaucoup plus souple, compte même tenu des oscillations propres du régulateur qui ne sont jamais bien graves.

Supposons que l'on ait toujours, pour la variation de charge,

$$\varepsilon C_{max} + \varepsilon' C'_{max} = \eta_2 C_{r_0}. \qquad (3')$$

D'autre part, on peut poser

$$E_s = \frac{\varepsilon}{2\mathfrak{T}} T_s \quad \text{et} \quad E'_s = \frac{\varepsilon'}{2\mathfrak{T}'} T'_s, \qquad (7)$$

$\frac{T_s}{2}$ et $\frac{T'_s}{2}$ étant respectivement les temps nécessaires pour influencer les régulateurs, ce qui se traduit par le

déplacement du point figuratif depuis la caractéristique moyenne jusqu'à la caractéristique de fermeture.

On notera aussi que

$$T_s = E_s\left(\frac{2\mathfrak{T}}{\varepsilon}\right) \quad \text{et} \quad T'_s = E'_s\left(\frac{2\mathfrak{T}'}{\varepsilon'}\right) \qquad (\xi)$$

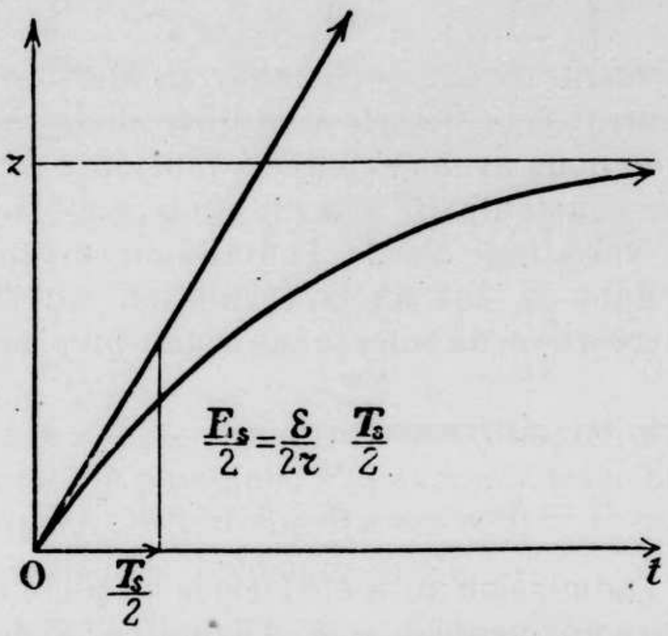


Fig. 5. — Forme théorique de la caractéristique de variation de vitesse en fonction du temps d'un groupe à régulateur direct, lors d'une variation de régime.

E_s et E'_s correspondant à l'écart des caractéristiques extrêmes (ouverture et fermeture).

1. Première hypothèse : le régulateur indirect est le plus sensible. — Soit donc (fig. 6).

$$t_0 < \frac{1}{2} T_s \quad \text{et} \quad t_0 > \frac{1}{2} T'_s. \qquad (\Xi)$$

Le régulateur direct est supposé plus sensible que l'autre. On notera que, bien que la caractéristique de régulation Γ de ce régulateur constitue la directive

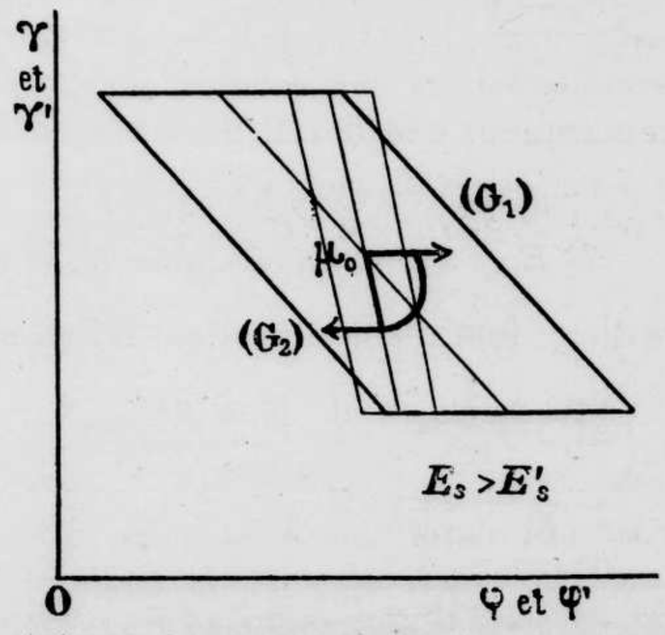


Fig. 6. — Diagramme de couplage de deux groupes électrogènes, l'un à régulateur direct, l'autre à régulateur indirect. Cas d'un régulateur indirect plus sensible que le régulateur direct. Forme de la perturbation.

générale de déplacement du manchon en fonction de la vitesse, cette caractéristique est un lieu de points $h = f(\omega)$, ou après transformation $C_m = f(\omega)$, en régime établi, et non en régime transitoire. Dans le cas d'une variation de charge, une fois vaincue l'insensibilité relative du régulateur, le point figuratif se sépare de Γ, et ne revient sur Γ que lors de l'établissement du nouveau régime (1).

Supposons donc les conditions définies par (ε) réalisées. Nous aurons, en faisant abstraction des couples synchronisants qui, pour les faibles écarts, seront toujours très faibles,

$$\left.\begin{aligned} &t_0 < T_s,\ C_{max}\frac{e_0}{E} - C_{r_0} + C_{max}\varepsilon = K\frac{d\omega}{dt} \\ &t_0 > T_s,\ C_{max}\left(\frac{e'_0 - at - aT'_s}{E'}\right) - C'_{r_0} + C'_{max}\varepsilon' = K'\frac{d'\omega}{dt}. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Si la perturbation disparaît, il y a retour au régime primitif. Si un nouveau régime s'institue avec une nouvelle répartition des charges, il y aura simplement glissement du point figuratif de l'état de G_2 sur sa caractéristique.

2. Deuxième hypothèse : le régulateur direct est le plus sensible. — Ce choix de régulateur est le plus logique, au moins à notre avis (fig. 7).

La perturbation influence donc G_1 avant G_2. Le moteur à gaz assure la plus grande partie de la variation de charge. Or, d'après la relation (β), $\varepsilon' > \varepsilon$, car on a $2\mathfrak{T}' > 2\mathfrak{T}$.

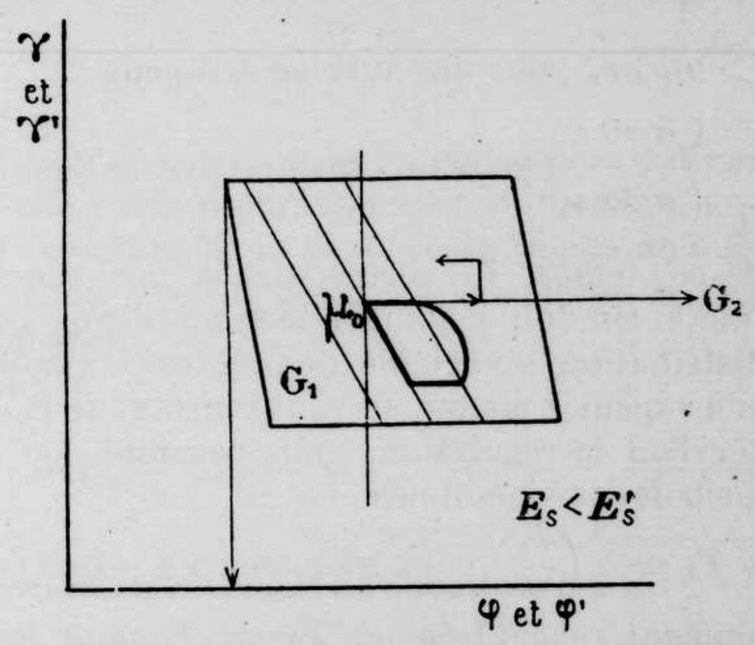


Fig. 7. — Diagramme du couplage de deux groupes électrogènes, l'un à régulateur direct, l'autre à régulateur indirect. Cas d'un régulateur direct plus sensible que le régulateur indirect. Forme de la perturbation.

Ce doit être du reste le propre de l'intervention du groupe à forte valeur de $\mathfrak{T}$ de prendre pour lui la plus grande partie de la variation de charge.

3. Remarque : valeurs respectives en pratique de T_s et de T'_s. — Nous aurons, comme indiqué plus haut,

$$T_s = 2\mathfrak{T}E_s \quad \text{et} \quad T'_s = 2\mathfrak{T}'E'_s.$$

(1) L. Barbillion ; Sur une méthode simple de représentation du mouvement du régulateur direct pendant une perturbation. *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, (Saint-Etienne), 1 et 15 juin 1930, nos 227 et 228.

Soit

$E_s = 0{,}01$ pour le régulateur direct;

$E'_s = 0{,}03$ pour le régulateur indirect.

Il y a intérêt, avons-nous dit, à choisir $E_s < E'_s$.

Pour les moteurs à gaz de stations métallurgiques puissantes, nous admettrons $\mathfrak{T} = 12{,}5$; pour les turbines à vapeur, $\mathfrak{T} = 1$; pour les turbines hydrauliques, $\mathfrak{T} = 5$ à 10, sauf dans le cas de matériel spécial à très basse chute.

Alors

$T_s = 25 \times 0{,}01 = 0{,}25$ s, pour les moteurs à gaz;

$T'_s = 2 \times 0{,}03 = 0{,}06$ s, pour les turbines à vapeur;

de même enfin

$$T''_s = \begin{cases} 10 \times 0{,}03 = 0{,}30 \text{ s} \\ 20 \times 0{,}030 = 60 \text{ s} \end{cases} \text{ pour les turbines hydrauliques.}$$

Ce sont les moitiés des temps T_s et T'_s qui interviennent, dans le cas de la perturbation, survenant à la suite d'un régime établi depuis suffisamment longtemps. On a alors

$$t_0 > \frac{T_s}{2} = 0{,}125 \text{ s, pour un moteur à gaz,}$$

$t_0 > 0{,}03$ s, pour une turbine à vapeur

$$t_0 > \begin{cases} 0{,}15 \text{ s} \\ 0{,}30 \text{ s} \end{cases} \text{ pour une turbine hydraulique.}$$

Mais ce temps T_s correspond à une conception incomplète. On doit y joindre le temps dit de « retard à la distribution » variable dans le cas du moteur à gaz, ou à vapeur à piston, suivant l'instant de la course où intervient la régulation, mais constant, ou à peu près, pour les turbomoteurs.

Soit $T_d = 2\left(\frac{T_s}{2}\right)$ pour les moteurs à piston (valeur fréquemment rencontrée) et $T_d = T_s$ pour les turbines à vapeur; enfin $T_d = 2T_s$ pour les turbines hydrauliques.

Pour les moteurs à gaz, on devra avoir en fait

$$t_0 \geq \frac{T_s}{2} + 2\,\frac{T_s}{2} = 0{,}375 \text{ s,}$$

ce qui correspond à peu près à une durée d'un tiers de seconde, généralement admise comme limite supérieure pour la durée des perturbations les plus favorables qui n'agissent pas sur les régulateurs de moteurs à gaz. Pour les turbines à vapeur $t_0 > 0{,}06$ s; pour les turbines hydrauliques suivant les types, $t_0 > 0{,}45$ s à $t_0 > 0{,}20$ s.

D. **Troisième cas : La perturbation influence à la fois les régulateurs des deux groupes.** — 1. Etude analytique du problème. — Nous aurons aussi, les deux régulateurs étant influencés et en supposant, pour simplifier, que les sensibilités de ces deux régulateurs soient ou infinies ou simplement égales, des équations de la forme, Δe représentant les modifications de l'admission,

$$\frac{C_{max}(e_0 - \Delta e)}{E} - C_r \pm C_s = K\frac{d\omega}{dt}. \qquad (5)$$

1° *Régulateur direct.* — Nous aurons alors $\Delta e = b\omega_0 z$ conformément à la théorie simplifiée de la régulation directe que nous avons exposée à plusieurs reprises, b étant une constante. Il y a en effet proportionnalité entre la variation Δe de l'admission e, en valeur absolue, dans le cas de la régulation directe et z, variation relative de vitesse, au signe près naturellement.

On aura, en particulier,

$$E = b\omega_0 z_{max} \quad \text{et} \quad E = b\omega_0 F_i. \qquad (7)$$

Quand l'admission aura été fermée en plein et que la vitesse aura augmenté de $\omega_0 E_i$, l'équation (5) deviendra

$$C_{max}\left(e_0 - \frac{z}{E_i}\right) - C_r + C_s = K\frac{d\omega}{dt} \qquad (5')$$

et enfin

$$C_{max}\left(e_0 - \frac{z}{E_i}\right) - C_{r_0} + \Gamma \pm C_s = K\frac{d\omega}{dt}. \qquad (5'')$$

Avec nos notations habituelles

$$\frac{-z}{E_i} + \varepsilon \pm \frac{C_s}{C_{max}} = 2\mathfrak{T}\,\frac{dz}{dt}. \qquad (5''')$$

2° *Régulateur indirect.* — De même, pour le second groupe, à régulateur indirect, nous aurons encore

$$C'_{max}\left(\frac{e'_0 - at}{E}\right) - C'_{r_0} + \Gamma \mp C_s = K'\frac{d\omega'}{dt}. \qquad (6)$$

Nous remarquons que

$$C_{max}\frac{e_0}{E} = C_{r_0} \quad \text{et} \quad C'_{max}\frac{e'_0}{E'} = C'_{r_0}.$$

Il reste donc, toutes simplifications faites, si

$$\left.\begin{aligned} -\Gamma &= \varepsilon C_{max} \quad \text{et} \quad \Gamma' = \varepsilon' C'_{max} \\ -\frac{z}{E_i} + \varepsilon &= 2\mathfrak{T}\,\frac{dz}{dt} \\ -\frac{at}{E} + \varepsilon' &\mp \frac{C_s}{C_{max}} = 2\mathfrak{T}'\,\frac{dz'}{dt} \end{aligned}\right\} \qquad (6')$$

Nous remarquons encore que

$\frac{a}{E} = \frac{1}{\theta}$, θ étant le temps de fermeture complète.

Nous avons dû compléter la formule de l'équilibre dynamique du groupe unique en adjoignant aux cou-

ples moteurs effectifs les couples synchronisants, qui interviennent dans les deux cas, à titre additif ou soustractif. On obtient ainsi les équations définitives du mouvement.

$$\left.\begin{aligned} \frac{-z}{E_i} + \varepsilon \pm \frac{C_s}{C_{max}} &= 2\mathfrak{C}\frac{dz}{dt} \\ \left(-\frac{t}{\theta}+\varepsilon'\right) \mp \frac{C_s}{C_{max}} &= 2\mathfrak{C}'\frac{dz'}{dt}. \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Ajoutant et retranchant ces équations, il viendra

$$\left.\begin{aligned} \left(\frac{-t}{\theta} - \frac{z}{E_i}\right) + (\varepsilon+\varepsilon') &= 2\mathfrak{C}\frac{dz}{dt} + 2\mathfrak{C}'\frac{dz'}{dt} \\ \left(+\frac{t}{\theta} - \frac{z}{E_i}\right) + (\varepsilon-\varepsilon') \mp \frac{2C_s}{C_{max}} &= 2\mathfrak{C}\frac{dz}{dt} - 2\mathfrak{C}'\frac{dz'}{dt}. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

C_s est le couple synchronisant total défini comme le quotient de la puissance P_s par une vitesse angulaire à déterminer. Cette définition du couple synchronisant appelle quelques développements.

2. Expression du couple synchronisant. — On a évidemment, avec R_g pour la résistance offerte au courant synchronisant et E_1, E_2, les forces électromotrices respectives des deux génératrices (fig. 8),

$$E_1 - E_2 = R_g(I_1 - I_2), \quad (6)$$

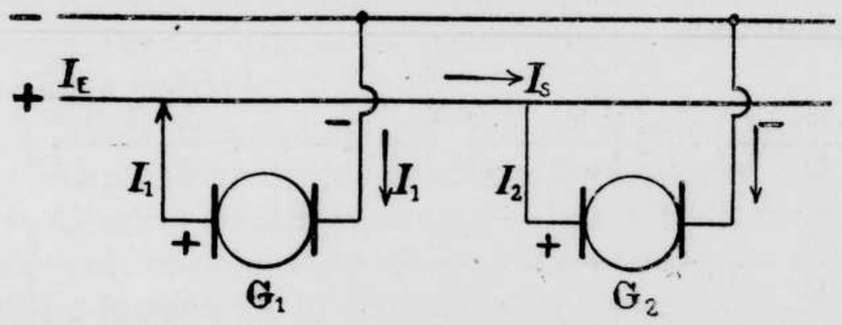


Fig. 8. — Schéma de couplage de deux groupes générateurs fonctionnant en parallèle avec indications du sens des courants extérieur et synchronisant.

équation qui ne suppose rien sur les vitesses ω_1 et ω_2, mais qu'on peut expliciter ainsi

$$(A\omega_0\Phi - A\omega'\Phi') = R_g(I_1 - I_2). \quad (6')$$

On aura le développement connu

$$I_E = I_1 + I_2 \quad \text{et} \quad I_s = I_1 - I_2 \quad (\chi)$$

d'où

$$I_1 = \frac{I_E + I_s}{2} \quad \text{et} \quad I_2 = \frac{I_E - I_s}{2}. \quad (\gamma)$$

$P_E = EI_E$ est la puissance totale fournie au réseau par l'ensemble des deux machines et $P_s = EI_s$, la puissance synchronisante totale mise en jeu par les deux machines. De même, on pourra écrire, pour cet effet synchronisant,

$$\left.\begin{aligned} &\text{Puissance fournie par } G_1,\ E_1 I_s = E_1\left(\frac{E_1 - E_2}{R_g}\right) \\ &\text{Puissance reçue par } G_2,\ E_2 I_s = E_2\left(\frac{E_1 - E_2}{R_g}\right). \end{aligned}\right\} \quad (\mu)$$

1° *Cas de machines marchant à la même vitesse.* — On a alors

$$C_s = \frac{E}{\omega}\left(\frac{E_1 - E_2}{R_g}\right) = \frac{E_1}{\omega}\left(\frac{E_1 - E_2}{R_g}\right) = E_2\left(\frac{E_1 - E_2}{R_g}\right).$$

Donc

$$\left.\begin{aligned} C_m - \frac{C_E}{2} - \frac{C_s}{2} &= K\frac{d\omega}{dt} \\ C'_m - \frac{C_E}{2} + \frac{C_s}{2} &= K'\frac{d\omega'}{dt'}. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

La différence de puissances fournies aux génératrices G_1 et G_2 s'établit ainsi

$$\omega[C_m - C'_m] - \frac{2C_s}{2}\omega = \left[K\frac{d\omega}{dt} - K'\frac{d\omega'}{dt}\right]\omega$$

ou plus simplement

$$(C_m - C'_m) - C_s = \left(K\frac{d\omega}{dt} - K'\frac{d\omega'}{dt}\right). \quad (9')$$

2° *Cas de « groupes appareillés ».* — Par « groupe appareillé » nous entendons des groupes ayant les mêmes constantes caractéristiques ci-après

$$C_{max} = C_{max}, \qquad \omega = \omega'_0, \qquad \mathfrak{C} = \mathfrak{C}'.$$

De tels groupes, dont la conception est commode pour une étude préliminaire de la question, ne constituent évidemment la plupart du temps qu'une fiction analytique simplificatrice de l'équation de l'équilibre dynamique.

Donc ici

$$\omega(C_m - C'_m) - C_s\omega = K\left(\frac{d\omega}{dt} - \frac{d\omega'}{dt}\right)\omega_0.$$

On aura en revenant à l'équation (9')

$$(C_m - C'_m) - C_s = \left(K\omega_0\frac{dz}{dt} - \frac{dz'}{dt}K'\omega'_0\right); \quad (9'')$$

mais, si R est la résistance extérieure correspondant à la pleine charge,

$$C_s = \frac{E^2}{\omega_0}\frac{R + R_g}{R_g(R_g + R)} = P_{moy}\Delta, \quad \text{si} \quad \Delta = \frac{R + R_g}{R_g}$$

$$C_m - C'_m + \Delta C_{moy} = K\omega_0\frac{dz}{dt} - K\omega'_0\frac{dz'}{dt}. \quad (9''')$$

Donc il n'existe aucune difficulté si $\omega_0 = \omega'_0$.
On a supposé aussi implicitement

$$C_{max} = C'_{max}$$

mais non $\mathfrak{G} = \mathfrak{G}'$. Le mouvement moyen est alors donné par la formule.

$$(C_m + C'_m) - C_E = K\omega_0 \frac{dz}{dt} + K\omega'_0 \frac{dz'}{dt} \qquad (9^{IV})$$

Ainsi, nous le répétons, il n'existe aucune difficulté sous le bénéfice de ces hypothèses simples pour l'introduction du couple synchronisant dans les équations de l'équilibre dynamique.

3° *Généralisation de l'expression du couple synchronisant.* — Nous supposons maintenant, pour plus de généralité

$$C_{max} \neq C'_{max}, \qquad \omega_0 \neq \omega'_0 \quad \text{et} \quad 2\mathfrak{G} \neq 2\mathfrak{G}'.$$

Les équations générales s'écrivent toujours en posant

$$z = \frac{\tilde{\omega}}{2\mathfrak{G}}, \qquad E_i = \frac{\Omega}{2\mathfrak{G}},$$

$$\left.\begin{aligned} \left[-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} + \frac{t}{\theta}\right] + (\varepsilon - \varepsilon') - \Delta(z - z') &= \frac{d\tilde{\omega}}{dt} - \frac{d\tilde{\omega}'}{dt} \\ \left[-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} - \frac{t}{\theta}\right] + (\varepsilon + \varepsilon') &= \frac{d\tilde{\omega}}{dt} + \frac{d\tilde{\omega}'}{dt}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Mais si ε et ε' sont dans le rapport des inclinaisons des

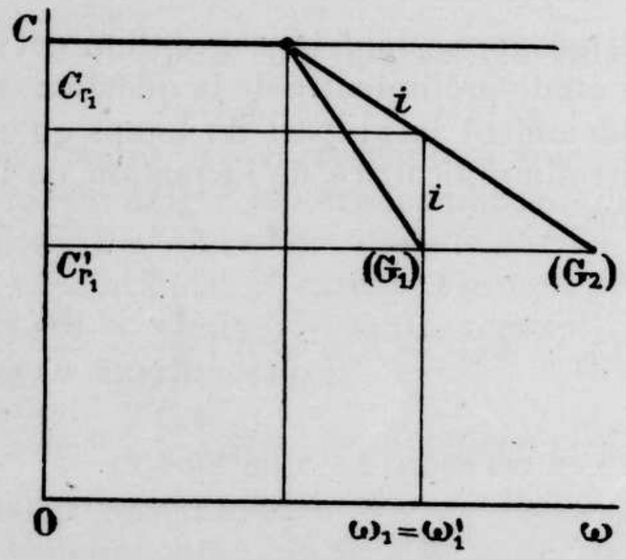


Fig. 9. — Diagramme du couplage de deux groupes en parallèle à caractéristiques de réglage différentes. Effet d'une variation de charge sur la répartition de celle-ci sur les deux groupes, quand la vitesse est maintenue constante.

caractéristiques de régulateurs, régime définitif auquel on tend nécessairement, on a

$$\frac{\varepsilon}{E_i} = \frac{\varepsilon'}{E'_i}.$$

De toutes façons, ε et ε' sont connus à la fin du réglage et sont dans le rapport qui précède, si l'on ne touche pas aux régulateurs (fig. 9).

3. Expression générale de la puissance synchronisante. — On a toujours sensiblement

$$P_s = \frac{E_1 - E_2}{R_g} E_1 \quad \text{ou encore} \quad E_2 \frac{E_1 - E_2}{R_g}.$$

Les forces électromotrices sont égales approximativement, puisque ces machines sont couplées. Alors pour chaque groupe, il y a une puissance mise en jeu, $\frac{P_s}{2}$ additive ou soustractive. Les équations générales deviennent, par la substitution des puissances aux couples, en désignant par P_e la puissance fournie au réseau

$$(C_m\omega - C'_m\omega') - \Delta P_E(z - z') = K\omega_0^2 \frac{dz}{dt} - \frac{dz'}{dt} K'\omega'^2_0$$

$$(C_m\omega + C'_m\omega') - P_E = K\omega_0^2 \frac{dz}{dt} + K'\omega'^2_0 \frac{dz'}{dt}$$

où $P_e = 2P_g$, P_g étant la puissance fournie par chaque génératrice.

Alors ici, si

$$\tilde{\omega} = 2\mathfrak{G}z \quad \text{et} \quad \tilde{\omega}' = 2\mathfrak{G}'z',$$

nous aurons

$$\left.\begin{aligned} \left(-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} + \frac{t}{\theta}\right) - \Delta\left(\frac{\tilde{\omega}}{2\mathfrak{G}} - \frac{\tilde{\omega}'}{2\mathfrak{G}'}\right) + (\varepsilon - \varepsilon') &= \frac{d\tilde{\omega}}{dt} - \frac{d\tilde{\omega}'}{dt} \\ \left(-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} - \frac{t}{\theta}\right) + (\varepsilon + \varepsilon') &= \frac{d\tilde{\omega}}{dt} + \frac{d\tilde{\omega}'}{dt}. \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Posons encore $\sigma = \tilde{\omega} - \tilde{\omega}'$ et prenons σ et $\tilde{\omega}$ comme variables. Il viendra

$$\left.\begin{aligned} \left(-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} + \frac{t}{\theta}\right) - \Delta\left(\frac{\tilde{\omega}}{2\mathfrak{G}} - \frac{\tilde{\omega} - \sigma}{2\mathfrak{G}'}\right) + (\varepsilon - \varepsilon') &= \frac{d\sigma}{dt} \\ \left(-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} - \frac{t}{\theta}\right) + (\varepsilon + \varepsilon') &= -\frac{d\sigma}{dt} + 2\frac{d\tilde{\omega}}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (11')$$

$$\left.\begin{aligned} \left(-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} + \frac{t}{\theta}\right) - \Delta\left(\frac{\tilde{\omega}}{2\mathfrak{G}} - \frac{\tilde{\omega}}{2\mathfrak{G}'} + \frac{\sigma}{2\mathfrak{G}'}\right) + \varepsilon - \varepsilon' &= \frac{d\sigma}{dt} \\ \left(-\frac{\tilde{\omega}}{\Omega} - \frac{t}{\theta}\right) + (\varepsilon + \varepsilon') = \rightarrow = -\frac{d\sigma}{dt} &+ 2\frac{d\tilde{\omega}}{dt} \end{aligned}\right\} \quad (11'')$$

système de deux équations différentielles du premier ordre, dont l'intégration n'offre aucune difficulté.

Nous retrouverons ces deux équations plus loin, sous une forme à peine différente, et nous procéderons à une intégration complète.

(*A suivre*) L. Barbillion.

Traces de balais sur les bagues de machines synchrones

A la suite d'un article publié dans ces colonnes (*) sous ce même titre, M. Perrier a été incité à préciser les conditions d'usure des balais dans diverses circonstances bien déterminées. Ce sont les résultats de ses observations qui sont consignés dans les lignes qui suivent; les cas envisagés sont ceux relatifs au fonctionnement en régime stable avec du courant continu et avec du courant continu ondulé; l'auteur déduit de ses observations les moyens de remédier aux défauts constatés.

Dans un précédent article (1) nous avons exposé mathématiquement le problème de l'usure inégale des bagues de machines synchrones alimentées en courant alternatif et avons indiqué une loi permettant de disposer les balais d'une façon telle qu'ils ne provoquent pas de faux rond de la bague.

Cette étude nous a valu un volumineux courrier. Nous avons été particulièrement heureux de recevoir d'un de nos anciens professeurs un extrait du règlement technique de la maison qu'il dirige où, dès 1922, il donnait à ses ingénieurs une règle analogue à celle que nous indiquions.

I. **Taches à l'arrêt.** — Les multiples communications que nous avons reçues posaient des questions sur des taches obtenues soit à l'arrêt, soit en marche. Nous n'insisterons pas sur la question des taches obtenues à l'arrêt, que nous illustrerons simplement par quelques exemples :

1° Balais très chauds sur bagues d'acier (cas relevé sur une machine de construction hongroise);

2° Alternateur arrêté sans que l'excitation de la machine soit coupée. Il se produit dans ce cas des cémentations locales de la bague, invisibles à l'œil, et qui donnent en marche des marques très nettes reproduisant sur les bagues la forme des balais, imprimées aux places que ceux-ci occupaient à l'arrêt;

3° Machine arrêtée en atmosphère chlorée, sulfurée ou ammoniacale. Dans ce cas, les balais jouent un rôle protecteur contre les actions chimiques, le collecteur restant sensiblement inattaqué sous les balais tandis qu'il est atteint partout ailleurs. Il est d'ailleurs à remarquer que dans une atmosphère chlorée, les parties d'un collecteur exposées aux rayons solaires sont plus vivement attaquées que celles qui se trouvent à l'ombre.

Si, dans tous les cas que nous avons énumérés, on remet la machine en route sans avoir procédé à un sérieux ponçage, on s'expose à une marche très défectueuse.

II. **Taches en marche : généralités.** — Nous avons pu classer en trois catégories les taches obtenues en marche : taches au démarrage, taches en régime troublé, taches en régime stable.

(*) M. Perrier; Traces de balais sur les bagues de machines synchrones. *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. XXV, p. 1009-1013.

(1) M. Perrier. *Loc. cit.*

1. Taches au démarrage. — Le démarrage en asynchrone des machines synchrones est toujours le résultat d'un compromis : il faut, en effet, en tenant compte de la cage nécessairement peu résistante des amortisseurs et du facteur de puissance peu élevé, obtenir un couple de démarrage suffisant sans dépense exagérée de courant. Il arrive donc que les rotors démarrent difficilement et qu'il faille quelquefois aider à la mise en route, surtout si les rapports entre le pas dentaire du rotor et le pas des amortisseurs n'est pas approprié. Il est hors de doute que, dans ces conditions, on relèvera des traces sur les bagues, comparables à celles que l'on remarque à l'arrêt.

2. Taches en régime troublé. — Des cas extrêmement curieux de taches relevées en régime troublé ont appelé notre attention. Il serait trop long d'en faire ici la description, qui n'aurait le plus souvent que le mérite d'être divertissante. Les cas sont si particuliers que les enseignements qu'on peut en tirer sont assez rares.

3. Taches en régime stable. — Pour expliquer la façon dont sont obtenues les taçhes en marche nous allons décrire les dispositifs expérimentaux et les essais que nous avons entrepris au laboratoire de la Société Le Carbone.

Nous pouvons diviser notre programme d'essais en trois parties: Usure de la bague en courant continu, usure de la bague en courant continu ondulé, étude en courant alternatif.

Nous ne traitons dans cet article que des deux premiers cas.

III. **Usure des bagues en courant continu.** — A. **Dispositif expérimental.** — Le dispositif expérimental très simple était le suivant : sur une bague de bronze A (fig. 1) reposent deux balais B et C, le courant entre par B et sort par C. Le balai B est appelé balai positif et C, balai négatif. Nous pouvons déporter B par rapport à C pour que chacun d'eux trace sa piste distincte; B trace la piste positive, C, la piste négative.

B. **Aperçu sur la chute de tension au contact.** — 1. Evolution géométrique. — Les balais étant mis à la forme de la bague, nous donnons un coup de pierre ponce et nous maintenons le courant constant. Un voltmètre indique une chute de tension au contact très faible et assez peu différente sous les balais B et C.

Mais cette chute augmente assez vite dans les débuts et présente au bout d'une heure une espèce de palier.

Nous avons donné à cette première période le nom d' « évolution géométrique » du contact. Le balai très rugueux après le coup de pierre ponce s'est peu à peu

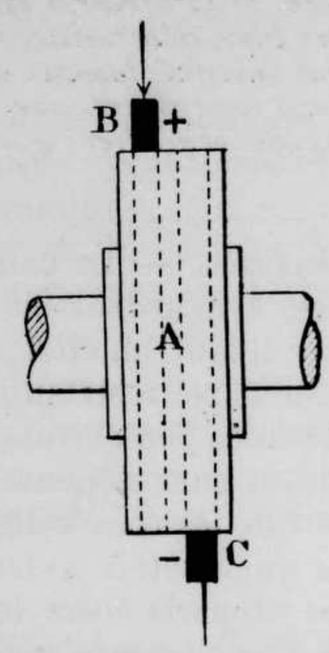


Fig. 1. — Croquis du dispositif expérimental pour l'étude de l'usure de la bague de bronze A, sur laquelle reposent des balais B et C; représentation des pistes positive et négative.

poli; il présente alors une face où sont tracés encore des sillons nombreux, mais assez peu profonds. A ce stade, la chute de tension au contact du balai négatif est environ de 10 pour 100 supérieure à celle du balai positif. Les deux pistes sont assez différentes.

Si nous examinons d'assez près la face frottante des balais, nous avons peine à déterminer l'importance des surfaces qui frottent vraiment sur la bague; par suite, nous n'avons aucune indication sur la densité du courant au point de contact et aussi, si nous recommençons l'essai, nous ne devons pas nous étonner de trouver pour le même courant une chute de tension tout à fait différente. Du reste, rien n'est plus facile que de relever une caractéristique de chute de tension en fonction du courant si nous ne modifions pas l'état actuel du contact. Mais nous ne pourrons jamais dire que nous avons relevé quelque chose en fonction de la densité du courant, car la seule quantité que nous connaissons est cette grossière densité moyenne de courant qui est le quotient du courant par la section de la face frottante du balai et qui ne représente absolument rien au point de vue physique.

2° *Polissage.* — On pouvait croire qu'il était possible de préciser la densité de courant en polissant le balai et la bague. A cet effet, nous avons employé des toiles d'émeri de plus en plus fines, puis du charbon qui sert à polir les cylindres de gravures de journaux; enfin nous avons laissé tourner à vide durant quelques heures. Les pistes et les faces frottantes de balais sont, dans ce cas, polies comme des miroirs, et si l'on établit le courant, on relève, pour un balai, une chute de tension très élevée, de l'ordre de 3 v pour 2 A : cm² avec production d'étincelles.

Au point de vue purement théorique, il apparaît donc comme impossible de relever une caractéristique de chute de tension au contact en fonction de la densité du courant, puisque nous ne connaissons pas cette dernière.

Au point de vue pratique, il y a lieu de retenir que la chute de tension sous un balai rugueux est faible, qu'elle est très élevée sous un balai glacé et que souvent, dans ce cas, il se produit des étincelles même s'il n'y a pas de coupure.

C. **Evolution électrochimique : l'usure, la « tartine ».** — Le pseudo-palier obtenu au bout d'une heure dans le relevé d'une chute de tension au contact est le début d'une évolution très lente. Les phénomènes rapides d'usure géométrique deviennent si petits que nous allons pouvoir discerner les faits électrochimiques. Supposons qu'il puisse y avoir électrolyse sous les balais. Avec les notations adoptées sur la figure 1, le balai B positif reçoit les oxydants de la bague et dépose sur elle son métal. Le balai C, négatif, oxyde la bague et en reçoit le métal. Dans la réalité tout se passe bien ainsi.

1. Balais de charbon. — Supposons tout d'abord que nous ayons des balais ne contenant que du charbon; c'est, par exemple, le cas de la qualité BB 5 de la Société Le Carbone. La piste positive reste intacte durant la rotation et la chute de tension sous ce balai monte à peu près insensiblement. Quelquefois, si l'atmosphère est très humide, la piste positive se couvre de légers dépôts de graphite; la piste négative, au contraire, se colore et évolue en passant par toute une gamme de couleurs, présentant à certains moments l'aspect irisé de lames minces, et s'oxyde au sens électrochimique du mot.

En même temps, la chute de tension au contact augmente lentement, mais arrive dans les cas normaux à croître de 20, 30 ou 40 pour 100 sur ce qu'elle était au bout d'une heure; en même temps des produits pulvérulents apparaissent.

Nous avons enfermé le balai négatif dans une boîte, et avons constaté que seul, il est cause d'usure; nous avons vérifié que les produits de cette usure présentent bien la même composition que l'alliage de la bague et qu'il n'y a pas sélection d'un métal par rapport à l'autre.

L'évolution du contact conduit ainsi à une période d'équilibre. La face frottante du balai est légèrement striée selon l'arc, la densité de courant n'est pas mieux définie qu'auparavant et la chute de tension s'accroît si les causes d'oxydation augmentent ou si l'on va vers des régimes de polissage de balai.

En particulier le contact qui suit approximativement la loi d'Ohm dans une variation rapide de courant, admet une sorte d'équilibre géométrique ; tout se passe comme si le courant dépolissait le balai et, aux faibles densités de courant, la chute de tension au contact atteint petit à petit, à peu de chose près, la valeur qu'elle avait pour les grandes densités de courant. Tout se passe encore comme si les surfaces vraiment utiles du balai

s'ajustaient à la valeur du courant pour conserver toujours à peu près la même densité réelle sous le balai.

2. Balais chargés de métal. — Si nous prenons des balais contenant un métal, à 75 pour 100 de cuivre par exemple, comme le balai CG 3295 de la Société Le Carbone, il va survenir une évolution du balai positif, parallèle à celle qu'on observe sur la piste négative : oxydation de la face frottante, augmentation de la chute de tension au contact, usure du balai positif. Mais ici les produits de l'électrolyse ne sont pas toujours pulvérulents, par suite de la consistance du balai, et il peut arriver que le balai plaque son métal sur la bague, y laissant une traînée brune. On dit souvent, dans ce cas, que le balai « tartine ». C'est cet apport de métal qui va jouer le rôle le plus néfaste dans la tenue des balais. Dans la rotation de la bague, le balai va être secoué à chaque tour par la portion de « tartine » ; il la martèlera ainsi que les zones avoisinantes. S'il est seul le courant tendra à être coupé, d'où des étincelles.

IV. **Usure des bagues en courant ondulé.** — A. **Le commutateur.** — 1. Dispositif. — La bague porte sur son bout d'arbre un commutateur tournant représenté sur la figure 2. Ce commutateur est constitué par deux bagues de cuivre d et e mortaisées et assemblées

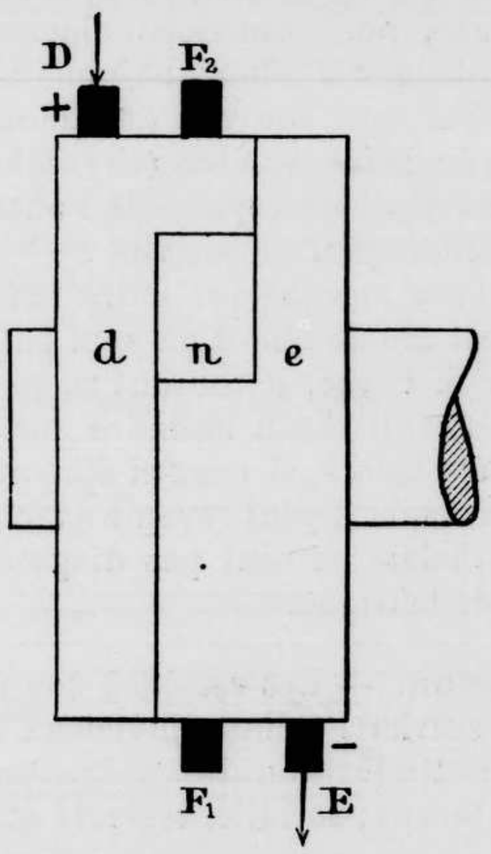


Fig. 2. — Croquis du commutateur tournant utilisé pour obtenir un courant continu ondulé : d et e, bagues de cuivre ; n, touche isolée.

côte à côte. Il est muni de touches n isolées, dont l'arc est supérieur à celui des balais, de telle sorte qu'il n'y ait pas de court-circuit du réseau par les balais F_1 et F_2.

Le courant d'un réseau à courant continu entre par le balai D, passe par F_2, réuni à un des frotteurs de la bague A (fig. 1), ressort par l'autre frotteur, revient au commutateur par F_1 et s'en va par E. La tension entre D et E à la coupure est de 12 v. Le courant est réglé par un rhéostat à une valeur de 300 A environ. Les frotteurs F_1 et F_2 ont un arc de 20 mm pour une longueur axiale de 10 mm. Ce sont des charbons électrographitiques. La coupure est accompagnée d'étincelles assez fortes. Les deux polarités ne sont pas identiques.

2. Différences entre les deux coupures. — Sur la bague d positive (fig. 3), la coupure se fait par une étincelle alimentée par le cuivre positif qui est bon conduc-

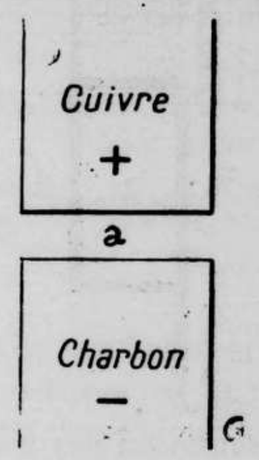


Fig 3. — Disposition de la bague et du balai a dans le cas de la coupure facile.

teur de la chaleur et qui a une grande surface de refroidissement. Aussi l'arrachement de métal est-il faible. Au contraire, sur la bague négative (fig. 4) on voit apparaître très vite une zone de la largeur du balai, extrêmement érodée. Le fond en est mat et est percé de petites aspérités rouges ou jaunes. Tout d'abord, cette zone est localisée à l'arête de coupure du cuivre, mais petit à petit, quand la distance entre

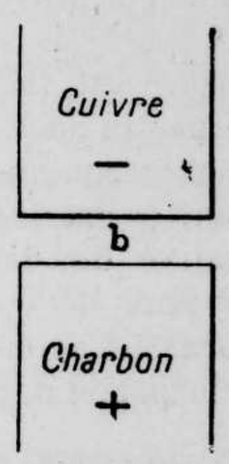


Fig. 4. — Disposition de la bague et du balai b dans le cas de la coupure difficile.

cuivre et balai devient trop grande, la tache progresse sur la bague e et la coupure se fait de plus en plus vite. De plus, sur la seule bague e on observe aussi une trace analogue à celle de la figure 5.

Une zone bleu d'acier luisante encadre la zone mate brillante, elle est recouverte d'oxyde obtenu par la haute température de l'étincelle voisine.

Il est évident que, dès le début des marques sur le commutateur, la tenue mécanique du balai devient très défectueuse et donne lieu à des vibrations ainsi qu'à un martèlement énergique de la bague.

Nous avons pu constater au stroboscope que, malgré tout, le balai suivait assez bien la bague. Celle-ci ayant un diamètre de 12 cm, sa périphérie mesure environ 38 cm, le balai est instable durant 1/15e de

tour environ. Il n'est donc agité que sur 2,5 cm, ce qui surprend, car, au premier abord, on le croirait plutôt en perpétuelle vibration.

B. **Les pistes.** — 1. L'USURE EST FAIBLE. — Examinons maintenant ce qui se passe sur la bague A alimentée par le courant de forme rectangulaire capté sur le commutateur par les frotteurs F_1 et F_2 de la figure 2. Le balai B de la figure 1 trace une piste sur laquelle il est positif quand F_2 repose sur d; négatif quand F_2 repose sur e.

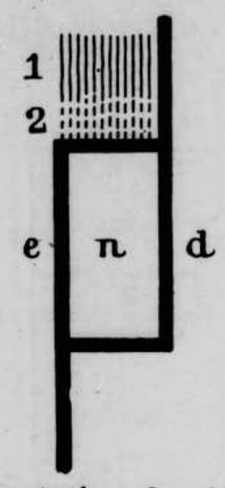


Fig. 5. — Représentation des traces de balais sur la bague négative : 1, zone bleue brillante; 2, zone noire mate.

Il y a donc changement de polarité sur chaque piste à chaque demi-tour de bague. Nous voyons assez rapidement apparaître sur chaque piste deux zones de coloration différentes : l'une, la zone négative, souvent assez claire où se produit l'usure; l'autre, la zone positive, reste intacte dans le cas d'un balai de charbon, ou peut se couvrir d'un dépôt provenant de la substance du balai si celui-ci est chargé de métal.

En profondeur l'usure est faible. Sur des bagues d'un alliage désigné par la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom) sous le nom d'alliage 33, ayant 40 cm de diamètre, c'est-à-dire une périphérie négative de 60 cm environ, nous n'avons pas obtenu plus de 0,02 mm d'usure avec 15 000 A h environ. Aussi n'avons-nous jamais trouvé trace d'anomalie sur la partie négative de la bague.

2. LA « TARTINE », SA FORMATION, SES EFFETS. — Au contraire, certaines qualités de balais posés sur ce métal donnent lieu, en quelques endroits, à des « tartines » assez importantes pouvant, avant le martèlement très efficace que leur donne le balai à chaque tour, dépasser 0,2 ou 0,3 mm d'épaisseur. Ces croûtes très dures que l'on peut gratter au couteau sont réparties au hasard sur la piste. Si, par contre, une croûte se pose en un point, quelques instants plus tard la partie de la bague qui passe immédiatement après ce point sous le balai est tartinée à son tour; la croûte s'agrandit ainsi dans le sens de rotation de la bague.

Pour essayer de suivre la formation de ces croûtes nous avons fait tourner la bague à 30 t : mn, et même moins. A cette allure, on peut suivre parfaitement ce qui se passe : les effets mécaniques de vibrations sont supprimés et il suffira d'accélérer la marche de la machine lorsqu'on aura provoqué une tache quelconque. D'autre part, on augmente les chances de voir naître un accident parce que le coefficient de frottement très élevé des balais, variable d'un point à l'autre dans des limites assez larges, fait que leur tenue sur le collecteur est assez mauvaise.

On voit ainsi apparaître la « tartine » en un point qu'une légère imperfection mécanique signalait à peine et elle progresse ensuite comme nous l'avons dit.

Si nous accélérons la machine, le balai trépide; des étincelles plus ou moins importantes, des oscillations des appareils de mesure signalent que le courant est plus ou moins coupé en cet endroit. Il s'agit heureusement d'un cuivre négatif par rapport au charbon positif. L'effet n'est pas très important sur la bague; il est désastreux, par contre, sur le balai qui s'use avec beaucoup de rapidité.

Si nous inversons les polarités, c'est à-dire si nous relions au pôle négatif le balai lorsque celui-ci couvre la zone tartinée, nous obtenons alors des marques profondes analogues à celles que nous avons décrites plus haut et qui sont souvent des décalquages de la face frottante du balai, à peine étirés dans le sens de l'arc. Il en est ainsi quel que soit l'obstacle que rencontre le balai lorsqu'il est négatif.

L'effet est bien marqué sur notre machine d'expérience qui n'est munie que d'un seul balai, et lorsque celui-ci quitte la bague, le courant ne peut passer que par des étincelles. Il serait moindre sur une machine ayant plusieurs balais, si ceux-ci étaient convenablement répartis; mais il peut revenir exactement à cette valeur si les balais ne sont pas disposés judicieusement le long de la bague.

V. **Conclusion.** — Les remèdes que nous préconisons sont les suivants : choix judicieux de la position des balais; multiplication des balais en évitant des modèles trop lourds; solidité, légèreté et souplesse du porte-balai.

M. PERRIER,
Ingénieur E. S. E.,
Chef du laboratoire de la Société Le Carbone.

Revues, analyses et informations

Les transformateurs de mesure (1).

1. INTRODUCTION. — Les auteurs font une étude d'ensemble des transformateurs de courant et de tension; en ce qui concerne les premiers, ils s'occupent surtout des transformateurs de courant dont l'enroulement primaire est formé par le câble même dans lequel passe le courant à mesurer.

Après avoir rappelé les différences connues entre les transformateurs de courant et ceux de tension et les conditions de précision et de robustesse de ces appareils, les

(1) J.-G. WELLINGS et C.-G. MAYO. *The Journal of the Institution of electrical Engineers*, juin 1930, t. LXVIII, p. 704-719, 12 000 mots, 25 figures.

auteurs indiquent les deux sources d'erreur qu'introduit leur présence dans le circuit de mesure : erreur due au rapport de transformation et erreur due au déphasage entre les courants primaire et secondaire, ou entre les tensions. On doit rendre cet angle de déphasage aussi faible que possible, car l'erreur qu'il provoque dans les mesures ne peut être corrigée ; celle-ci dépend du facteur de puissance du circuit, dont on mesure, par exemple, la puissance ; de plus, elle peut devenir très importante pour les faibles facteurs de puissance.

2. Transformateurs de courant. — Ce qui est surtout à retenir dans le travail des auteurs, ce sont les artifices proposés pour la réduction des erreurs, surtout par la diminution du déphasage entre les courants.

Un premier artifice, applicable aux circuits triphasés, consiste (fig. 1) à utiliser des transformateurs à deux secondaires à des nombres de spires différents et à mettre

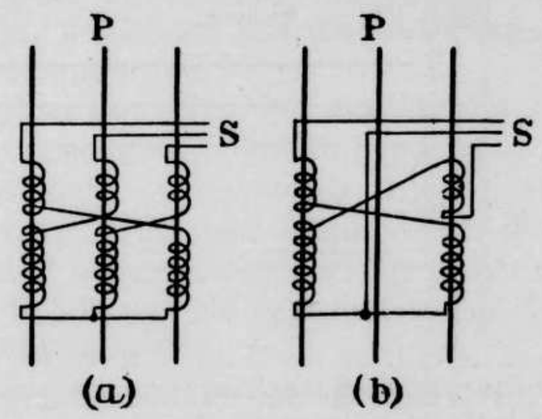


Fig. 1. — Schémas de montage de trois (a) ou deux (b) transformateurs de courant à deux enroulements secondaires : P, circuit primaire triphasé ; S, circuit secondaire.

en série les secondaires de deux transformateurs appropriés. La figure 1a concerne un montage à trois transformateurs ; la figure 1b s'applique au cas plus courant où on n'emploie que deux transformateurs.

Les dispositifs des figures 2, 3 et 4 sont plus généraux. Dans le dispositif de la figure 2, un transformateur auxiliaire, monté sur le même câble que le transformateur

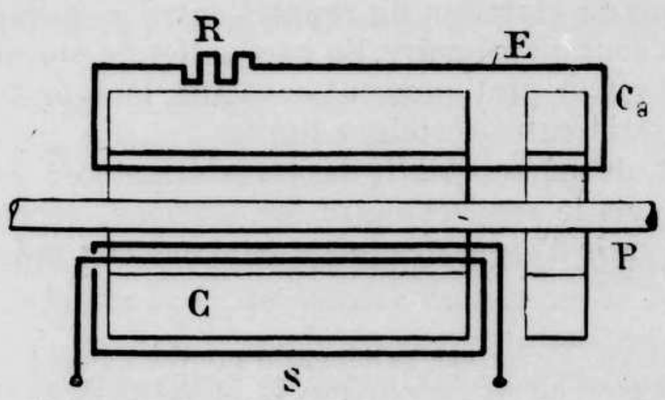


Fig. 2. — Schéma d'un transformateur de courant principal avec transformateur auxiliaire : C, circuit magnétique principal ; C_a, circuit magnétique auxiliaire ; E, enroulement corrigeant le déphasage ; P, primaire ; R, résistance de réglage ; S, secondaire.

principal, fournit le courant d'excitation de ce dernier et réduit ainsi fortement le déphasage ; une résistance de réglage permet d'obtenir le résultat voulu.

Le dispositif de la figure 3 est analogue au précédent, mais le transformateur auxiliaire sert aussi à alimenter les appareils de mesure.

La figure 4 montre un dispositif dans lequel la réduction de l'erreur du transformateur est obtenue en amenant le fer de son noyau dans un état magnétique pour lequel la perméabilité est minimum. A cet effet, le circuit magnétique principal est formé de deux moitiés identiques et le transformateur auxiliaire développe dans ces deux parties des

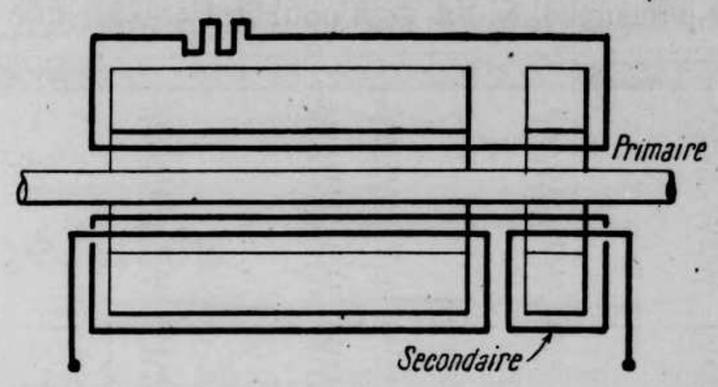


Fig. 3. — Même disposition que sur la figure 2, mais le transformateur auxiliaire contribue aussi à alimenter les appareils de mesure.

ampères-tours égaux et de sens contraire ; en réglant convenablement ces ampères-tours, on peut obtenir le maximum de perméabilité pour une valeur moyenne du courant primaire. Or, le déphasage du transformateur est dans le

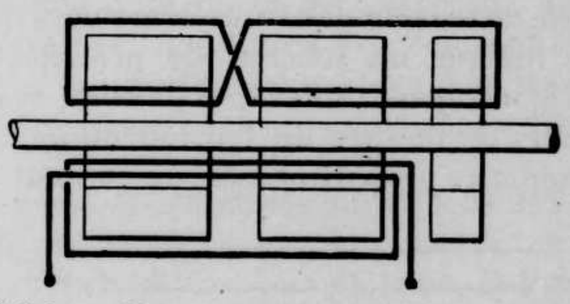


Fig. 4. — Schéma d'un transformateur de courant principal avec transformateur auxiliaire : le circuit magnétique principal est divisé en deux parties distinctes.

rapport inverse de la perméabilité ; d'autre part, la perméabilité maximum est de beaucoup supérieure (5 à 10 fois environ) à celle qu'a le fer dans les conditions de fonctionnement d'un transformateur normal (1).

Pour obtenir un rapport de transformation déterminé, on agit souvent sur le nombre de spires ; si ce nombre est faible le réglage par spires entières peut être trop discontinu ; on arrive à obtenir l'effet de demi-spires en séparant le circuit magnétique en deux parties égales et en enroulant une spire sur la moitié seulement de ce circuit.

3. Transformateurs de tension. — Dans cette partie de l'article, on doit retenir surtout un dispositif permettant de réduire le déphasage entre les tensions primaire et secondaire. Ce dispositif, indiqué schématiquement sur la figure 5, est analogue à celui de la figure 1 pour les transformateurs de courant. La figure 5 a concerne le montage à trois transformateurs et la figure 5 b, celui à deux transformateurs seulement. Dans les deux figures on n'indique que le schéma de montage des secondaires.

Elimination des transformateurs de tension dans les circuits à haute tension. — Dans une sous-station ou un poste

(1) Des dispositifs tout à fait analogues à ceux des figures 2 et 4 ont été brevetés en juillet 1923 par la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz, sous le nom de « transformateurs autocompoundés ». Le dispositif de la figure 4 dérive d'ailleurs des transformateurs « compoundés » que cette compagnie construit depuis 1914. Voir : A. Iliovici ; Transformateurs d'intensité compoundés. *Bulletin de la Société française des Electriciens*, février 1923, t. III (4e série) p. 55-70. — Remarques sur la tarification et la mesure de l'énergie électrique dans les réseaux haute tension. *Comptes rendus des travaux de la quatrième Session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension*, 1927, t. II, p. 137-164.

comportant des transformateurs de puissance abaisseurs de tension, on peut avoir intérêt à monter les transformateurs de mesure de tension sur la basse tension des transformateurs de puissance. Si on veut pourtant obtenir une tension

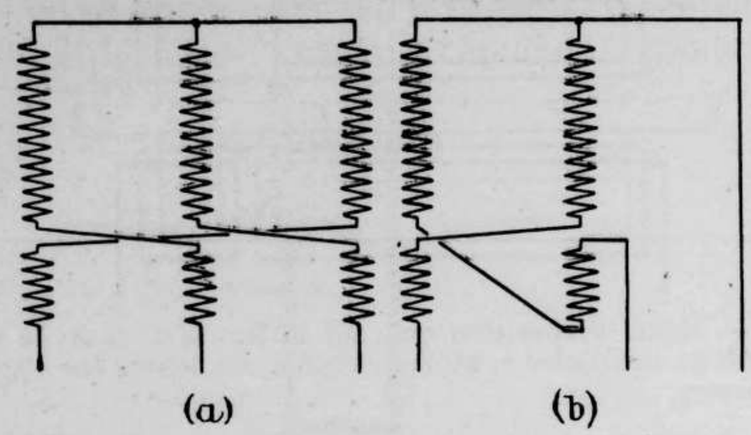


Fig. 5. — Schéma du montage des secondaires de trois (a) ou de deux (b) transformateurs de mesure de tension ayant chacun deux enroulements secondaires.

proportionnelle à la haute tension, on est forcé de compenser la chute de tension des transformateurs de puissance. La figure 6 indique un schéma de principe permettant d'obtenir cette compensation. A la tension secondaire des transformateurs de mesure de tension on ajoute une tension supplémentaire proportionnelle au courant et prise aux

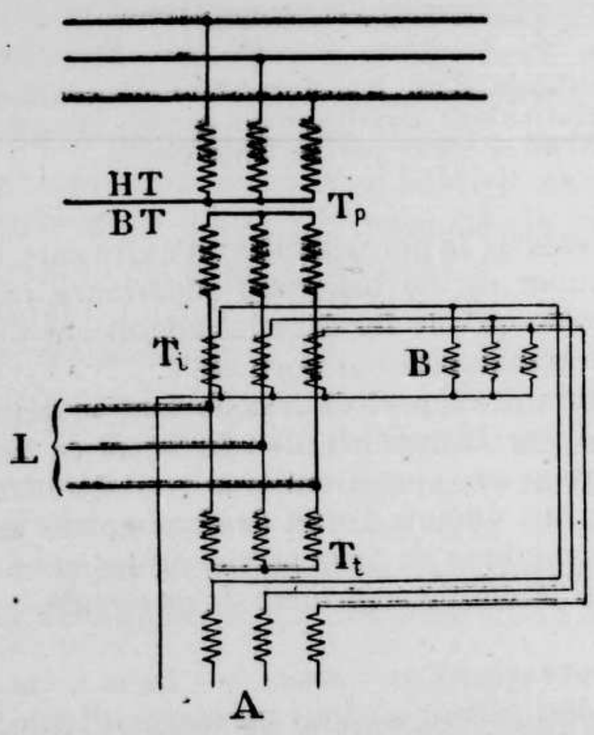


Fig. 6. — Schéma de montage des transformateurs de mesure de tension sur le côté de la basse tension d'un transformateur de puissance avec dispositif de compensation de la chute de tension dans ce dernier : T_p, transformateur de puissance; HT, haute tension; BT, basse tension; T_i, transformateur de courant; B, bobine de compensation, T_t, transformateur de mesure de tension; L, lignes à basse tension; A, appareils de mesure ou relais.

bornes de bobines d'inductance alimentées par des transformateurs de courant.

On peut se servir des transformateurs de courant eux-mêmes comme bobines d'inductance; d'autre part, on doit tenir compte des montages, primaire et secondaire, des transformateurs de puissance.

Les auteurs indiquent quatre schémas de montage, dont un seul est reproduit en figure 7, à titre d'exemple. On voit que le couplage du transformateur de puissance est en étoile-triangle, tandis que les transformateurs de mesure de tension sont en triangle-étoile; d'autre part, les secondaires des transformateurs de courant sont aussi montés en triangle (1).

4. Transformateurs pour usages spéciaux. — Il existe des cas où le courant secondaire d'un transformateur de courant doit varier plus rapidement que le courant primaire.

Les auteurs sont arrivés à ce résultat à l'aide d'un transformateur analogue à celui de la figure 2, dans lequel on

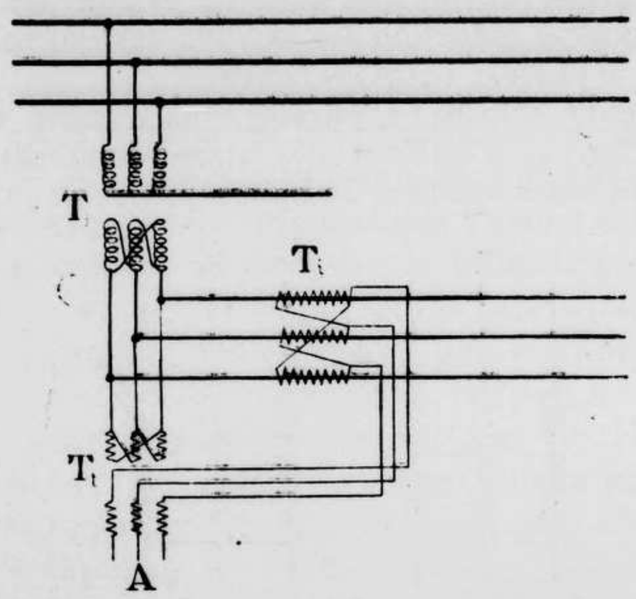


Fig. 7. — Schéma de montage des transformateurs de mesure de tension sur le côté de la basse tension d'un transformateur de puissance avec dispositif de compensation de la chute de tension dans ce dernier : T_p, transformateur de puissance; T_i, transformateur de courant tenant lieu du dispositif de compensation; T_t, transformateur de tension.

remplace la résistance de réglage par une inductance réglable. On peut réaliser cette inductance en enroulant du fil sur le pourtour du circuit magnétique même du transformateur de mesure.

En proportionnant convenablement les divers éléments d'un transformateur analogue au précédent on peut obtenir d'autres lois de variation du rapport entre le courant secondaire et le courant primaire. En particulier, le courant secondaire peut rester pratiquement constant, lorsque le courant primaire varie entre certaines limites.

On peut, de même, établir des transformateurs de tension dans lesquels le rapport entre les tensions, secondaire et primaire, varie d'après des lois analogues aux précédentes. — A. I.

(1) G. Darrieus; Comptage de l'énergie sur les lignes à haute tension. *Revue générale de l'Electricité*, 31 juillet 1926, t. XX, p. 171-174. Dans cet article sont indiqués des dispositifs permettant de compenser aussi le courant magnétisant du transformateur de puissance.

A. Iliovici. *Comptes rendus des travaux de la quatrième Session de la Conférence internationale des grands Réseaux électriques à haute Tension*, loc. cit. Dans ce travail, l'auteur montre que si les transformateurs de courant sont montés sur la haute tension des transformateurs de puissance et les transformateurs de tension, sur la basse tension de ceux-ci, les compteurs alimentés par ces appareils mesurent l'énergie en haute tension diminuée des pertes par effet Joule dans les transformateurs de puissance. Ces dernières sont en général négligeables: si on veut en tenir compte on peut appliquer aux transformateurs de tension les dispositifs de compensation indiqués par MM. Wellings et Mayo.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 30 MAI 1930.

Des rapports annuels, concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 101 719 250 fr et dont le siège social est à Paris, 75, boulevard Haussmann, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Les conventions nouvelles qui avaient été soumises à la ratification de l'assemblée générale l'an dernier et passées le 1er octobre 1929 entre la compagnie et la Société du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris, agissant conjointement et solidairement, la Ville de Paris et le Département de la Seine, ont été approuvées par décret en date du 24 décembre 1929 (1).

Rappelons que ces conventions déterminent les conditions de construction et d'exploitation des prolongements du chemin de fer métropolitain en banlieue, en même temps qu'elles marquent le retour à un régime d'exploitation aux risques et périls de la compagnie, sous certaines garanties. Mais ce régime n'est entré en vigueur que le 1er janvier dernier. On peut en espérer des résultats satisfaisants.

En exécution de ces nouveaux contrats, la fusion de la Société du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris avec la compagnie est devenue un fait accompli. Depuis le 1er janvier 1930, et désormais, les réseaux de ces deux compagnies sont réunis dans une seule et même exploitation, sous le nom de Chemin de fer métropolitain de Paris.

La longueur du réseau concédé se trouve augmentée : d'une part, la fusion avec le réseau « Nord-Sud » la porte de 123 km, sa longueur actuelle, à 143,040 km ; d'autre part, le réseau de banlieue concédé par la convention passée avec le Département de la Seine la fait passer à 175,793 km.

Pour l'exercice 1929, le dernier du régime de la convention de 1921, le compte rendu concerne uniquement l'ancien réseau de la Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris.

La Ville de Paris a poursuivi la construction des 17,500 km des lignes mises en chantier en 1925, 1926 et 1927.

Les tronçons de la ligne n° 10, entre le boulevard Saint-Michel et la place Maubert, de la ligne n° 7 entre la place Monge et la porte de Choisy, ainsi que le souterrain raccordant ces deux lignes ont été remis à la compagnie dans la première quinzaine du mois de novembre 1929 ; la station Pont Sully-Boulevard Morland a été livrée en janvier 1930. Les travaux du terminus Porte d'Ivry et ceux de la traversée sous-fluviale de la Seine, aux abords du pont Sully. sont en cours d'achèvement ; ces nouveaux ouvrages, destinés à permettre l'exploitation de la ligne n° 7, dans toute son étendue, seront vraisemblablement remis à la compagnie au début du deuxième semestre de l'année 1930.

Sous les grands boulevards, du carrefour Richelieu-Drouot à la place de la République, les travaux entrepris pour le prolongement des lignes n° 8 et n° 9, superposées dans cette partie, se poursuivent activement. La remise de ces tronçons, tout au moins de celui de la ligne n° 8, semble pouvoir être escomptée pour la fin de l'année. A cette date également, la partie de la ligne n° 8 s'étendant de la place de la République à la porte de Charenton pourra, selon toute vraisemblance, être livrée à la compagnie.

De son côté, la compagnie a exécuté de très importants travaux d'aménagement des ouvrages construits par la Ville de Paris.

Ces travaux ont été terminés au mois de février dernier, sur la partie de la ligne n° 10 comprise entre Odéon et Place Maubert-Mutualité et sur celle de la ligne n° 7 comprise entre la place Monge et la porte de Choisy. Un souterrain de raccordement, reliant entre les places Maubert et Monge ces deux tronçons distincts, permet actuellement de faire circuler provisoirement les trains entre les stations Invalides et Porte de Choisy.

D'importants travaux ont été également réalisés sur la partie de la ligne n° 7 s'étendant entre les stations Pont-Marie et Place Monge. A la station Pont Sully-Boulevard Morland, le gros œuvre des accès est terminé et les aménagements sont en cours. Cette station sera prochainement ouverte au public. Les travaux de la station double Place Jussieu sont commencés, ainsi que ceux de la station Rue du Cardinal-Lemoine, sur la ligne n° 10.

Les travaux de gros œuvre de tous les accès sont commencés sur les lignes n° 8 et n° 9 conjuguées, de la station Richelieu-Drouot à Place de la République et sur le prolongement de la ligne n° 8, de la place de la République à la porte de Charenton. Certains de ces accès seront achevés dès le mois de juillet 1930. Le ballastage et la pose des voies sur la ligne n° 8 seront effectués de manière à permettre au public d'utiliser ce nouveau tronçon au moment de l'ouverture de l'Exposition coloniale de 1931.

La transformation du courant à 50 p : s a été réalisée dans quatre nouvelles stations ; elle est en cours dans les trois dernières des seize sous-stations de la Compagnie.

Deux nouvelles sous-stations, dénommées Trocadéro et Daumesnil, vont être prochainement construites. La première est destinée à l'alimentation des lignes n° 5 et n° 9, l'autre, à celle de la ligne n° 6 et de la ligne n° 8 prolongée.

Le prix moyen du billet n'a pas varié par rapport à l'exercice précédent, les tarifs étant restés les mêmes.

Les recettes totales se sont élevées pour l'exercice 1929 à 413 500 326,84 fr contre, en 1928, 386 251 330,61 fr,

Les dépenses totales ont été de 394 400 232,15 fr contre 348 826 091,62 fr en 1928.

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 13 juillet 1929, t. XXVI, p. 75.

La balance du compte général des recettes et des dépenses fait donc apparaître un solde bénéficiaire de 19 100 094,69 fr, qui, en vertu de la convention de 1921, appartient à la Ville de Paris.

L'examen du bilan permet de faire les constatations suivantes :

A l'actif, les comptes de premier établissement s'élèvent, au 31 décembre 1929, à 702 863 161,97 fr, en augmentation de 142 004 339,76 fr sur le chiffre de 1928.

Les comptes caisse et banques, qui représentent l'ensemble des disponibilités de la trésorerie, se montent à 176 720 135,98 fr en diminution de 150 097 668,77 fr par rapport au chiffre correspondant de 1928; cette diminution s'explique par les nombreux travaux exécutés en cours d'année par la compagnie, travaux qui ont absorbé le reliquat de l'emprunt de 300 millions de francs émis en 1928.

Le compte des valeurs affectées au fonds de retraites, qui s'élève à 65 696 237,96 fr, est en augmentation de 25 866 818,24 fr et le compte des valeurs affectées au fonds de capitalisation des usines d'électricité marque une augmentation de 1 132 706,11 fr.

Le compte portefeuille et cautionnements de la compagnie est en diminution de 232 446,46 fr par suite du remboursement d'un certain nombre d'obligations amorties.

Le compte débiteurs divers accuse une augmentation de 494 214,68 fr.

Le compte approvisionnements marque une augmentation de 6 857 705,01 fr.

Au passif, le montant des comptes capital-actions, obligations et bons décennaux reste sans changement par rapport à 1928.

Le fonds de retraites passe de 57 921 698,14 fr, au 31 décembre 1928 à 68 550 000,71 fr, au 31 décembre 1929, soit une augmentation de 10 628 302,57 fr.

Le fonds de capitalisation des usines d'électricité est en augmentation de 1 132 706,11 fr.

Les comptes fonds de garantie des rentes viagères et temporaires et assurances générales sont en augmentation: le premier de 264 088,45 fr, le second de 509 388,88 fr.

Le compte créditeurs divers fait apparaître une augmentation de 11 676 105,95 fr.

Sous la rubrique réserves de la compagnie, la réserve légale figure toujours pour son maximum, c'est-à-dire 7 500 000 fr, mais le fonds de prévoyance est en augmentation de 1 700 000 fr qui lui ont été affectés lors de la répartition des bénéfices de l'exercice 1928.

Au compte de profits et pertes, le crédit comprend :

1° Le report du solde de l'exercice 1928, soit 151 674,86 fr;

2° La rémunération de la compagnie pour l'exercice 1929, qui se décompose ainsi : prime sur le nombre des billets (abattements déduits), 8 792 909,65 fr; prime au produit du trafic (abattements déduits) 3 882 349,76 fr ; primes sur recettes hors trafic, 1 996 433,51 fr. L'abattement d'un cinquième sur la partie de la rémunération totale comprise entre 13 millions et 14 millions de francs et de deux cinquièmes sur le surplus, s'élevant à 468 677,16 fr, la rémunération totale est de 14 203 015,76 fr ;

3° Les intérêts des fonds ou créances appartenant en propre à la compagnie, soit, 1 640 271,09 fr.

L'ensemble du crédit s'élève donc à 15 994 961,71 fr.

Le débit comprend l'ensemble des dépenses payées au cours de l'exercice au compte propre de la compagnie et des provisions constituées en vue de règlements demeurant à effectuer au même compte, soit 2 100 000 fr.

Le solde créditeur du compte de profits et pertes ressort ainsi à la somme de 13 894 961,71 fr, dans laquelle le report à nouveau entre pour 151 674,86 fr.

Ce solde est réparti ainsi qu'il suit : amortissement de 5 660 actions, 1 415 000 fr ; premier dividende de 3 pour 100, soit 7,50 fr, à 200 740 actions de capital, 1 505 550 fr ; au conseil d'administration et à la direction 8 pour 100 sur l'excédent des bénéfices nets de l'exercice, soit 865 818,95 fr; sur 10 millions 822 736,85 fr versement au fonds de prévoyance, 1 700 000 fr; deuxième dividende de 27,50 fr à chacune des 300 000 actions, 8 250 000 fr.

Il reste une somme de 158 592,76 fr qui est reportée à nouveau.

Le dividende est mis en paiement, sous déduction des impôts, le 1er juillet 1930.

Les résultats de l'exercice écoulé, le dernier du régime créé par la convention de 1921, sont donc sensiblement équivalents à ceux de l'exercice précédent. Il ne pouvait, d'ailleurs, en être différemment, en raison des dispositions de la susdite convention qui limitaient la rémunération de la compagnie au point de ne plus intéresser celle-ci dans les résultats de son exploitation. On peut espérer qu'en raison du développement chaque jour croissant de la compagnie, et des nouvelles formules qui la régissent, un avenir prochain apportera à l'entreprise un nouvel essor.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Voie ferrée et dépendances	358 927 746,91
Matériel roulant, outillage et mobilier	237 250 459,82
Ateliers et bâtiments	37 773 818,04
Frais généraux et divers	68 911 137,20
Caisse et banques	176 720 135,98
Valeurs affectées au fonds de retraites	65 696 237,96
Valeurs affectées au fonds de capitalisation des usines d'électricité	8 993 263,21
Portefeuille	5 603 048,18
Cautionnements	1 357 387,90
Débiteurs divers	24 041 854,26
Approvisionnements	23 644 706,05
	1 008 919 795,51

Passif.

	fr
Capital-actions : 300 000 actions dont 200 740 actions de capital; 99 260 actions de jouissance	75 000 000 »
Obligations 3,50 pour 100 1906	23 500 000 »
Obligations 4 pour 100 1907 à 1913	101 499 415,45
Obligations 6 pour 100 1923	159 935 967,50
Bons décennaux 7 pour 100 1925	89 972 500 »
Obligations 6 pour 100 1928	299 999 920 »
Fonds de retraites	68 550 000,71
Fonds de capitalisation des usines d'électricité.	8 993 263,21
Fonds de garantie des rentes viagères et temporaires	1 313 176,77
Assurances générales	3 053 667,05
Créditeurs divers	136 642 107,61
Réserve légale	7 500 000 »
Fonds de prévoyance	17 315 972,60
Actions amorties et dividendes restant à payer.	1 748 842,90
Profits et pertes : solde au 31 décembre 1929	13 894 961,71
	1 008 919 795,51

SECTION DE LÉGISLATION

La désignation des pièces détachées et la question des références

Dans une étude publiée récemment dans cette revue (*), l'auteur du présent article examinait la licéité de l'emploi du nom ou de la marque d'un tiers pour désigner des pièces détachées à titre de référence. Il lui a paru intéressant d'y revenir et d'y consacrer un examen plus approfondi en raison de la contradiction entre une résolution récemment votée au Congrès international de la Protection de la Propriété industrielle de Budapest et les tendances trés nettes de la jurisprudence française et aussi de la jurisprudence étrangère.

I. **Introduction.** — Le Congrès de l'Association internationale pour la Protection de la Propriété industrielle, qui se tint à Budapest, au début de juin 1930, avait inscrit à son ordre du jour la question de la désignation des pièces détachées et des références.

Nous avions présenté sur la question des références (nous laissons intentionnellement de côté la question des modèles qui est distincte) un rapport sanctionné par la résolution suivante, remaniée d'accord avec le groupe anglais de ladite Association et que nous présentions à l'agrément du Congrès :

« Le Congrès est d'avis qu'il n'est pas illicite d'employer, à titre de référence, le nom ou la marque d'autrui pour désigner des pièces détachées lorsque :

1° L'emploi du nom ou de la marque n'a pour but et pour effet que d'indiquer la destination de l'objet;

2° Lorsque l'usage courant ne permet pas d'autre appellation, du moins aussi explicite;

3° Lorsqu'aucune manœuvre déloyale, susceptible de déterminer une confusion avec les pièces fabriquées par le titulaire du nom ou de la marque, n'est employée. »

En dépit de nos efforts personnels pour maintenir la question sur un terrain purement objectif, et conformément d'ailleurs à nos prévisions, le débat qui suivit l'exposé de notre conception prit immédiatement un caractère sentimental et passionné qui, en se prolongeant et en s'accentuant, détermina un grand nombre de congressistes, visiblement mécontents de la tournure prise par la discussion, à se désintéresser de celle-ci et à quitter la salle des séances.

Finalement, sur une motion de priorité présentée inopinément pour combattre notre résolution, les congressistes, demeurés en séance, votèrent par 22 voix contre 17 le texte suivant :

« L'usage du nom ou de la marque d'autrui, même à titre de simple référence, pour désigner des pièces détachées, doit être, dans tous les cas, considéré comme une atteinte aux droits du propriétaire du nom ou de la marque. »

Il est manifeste, qu'en raison des circonstances, une résolution aussi radicale et d'ailleurs aussi peu conforme au caractère, si l'on peut dire, du problème posé, ne résout rien et que la question devra revenir devant un autre congrès pour être cette fois discutée après une étude préalable approfondie avec le sang-froid et l'objectivité nécessaires, en tenant compte de tous les éléments à considérer en la circonstance.

Il ne faut pas oublier qu'en France la jurisprudence dominante est fixée dans le sens de la proposition que nous avions présentée; il faut rappeler, d'autre part, que les rapports des principaux groupes de l'Association internationale pour la Protection de la Propriété industrielle (allemand, anglais, autrichien, suisse, etc.) avaient fait apparaître la même tendance et il est à présumer que la motion prise à Budapest dans des conditions particulières, à une faible majorité, en fin de séance, par une assemblée réduite, ne sera pas finalement consacrée et que les principes, que nous avons préconisés dès l'origine de la discussion, s'imposeront et régiront les espèces que les tribunaux auront à juger, puisqu'ils sont, c'est du moins notre conviction, l'expression même du droit en la matière.

II. **Fixation juridique des bases du problème à résoudre.** — Nous voudrions, avec la totale indépendance et la scrupuleuse objectivité qui nous ont toujours dominé depuis que nous avons commencé l'examen de la question des pièces détachées, reprendre plus à fond cette étude et fixer juridiquement les bases du problème à résoudre.

Pour pouvoir prétendre à l'interdiction absolue d'employer dans tous les cas le nom et la marque d'un tiers, selon le vœu émis à Budapest, il serait nécessaire d'accorder au nom ou à la marque le caractère d'une propriété de droit commun au sens le plus littéral du terme, suivant le principe même de l'article 544 du Code civil.

Or, ni le nom patronymique, envisagé sous l'angle du nom commercial, ni la marque déposée, ne peuvent conférer un droit assimilable à celui que prévoit l'article 544 du Code civil.

Depuis longtemps la démonstration en a été faite.

M. Georges Maillard, dans une étude publiée dans

(*) Fernand-Jacq; La désignation des pièces détachées. *Revue générale de l'Electricité*, 12 juillet 1930, t. XXVIII, p. 77-80.

les « Annales de la Propriété industrielle » (1894, p. 343), fait observer judicieusement que « tous les juristes qui se sont donné la peine de remonter à l'origine des noms et d'analyser le droit de l'individu sur le nom patronymique en demeurent d'accord. Le nom patronymique a été mis en usage notamment pour permettre de désigner les uns et les autres tout à la fois dans l'intérêt général de l'ordre et de la police, dans l'intérêt particulier de l'individu à qui il importe de dégager sa personnalité et de la faire respecter... L'individu pourra s'opposer à ce qu'on lui enlève l'usage de son nom, mais le droit au nom aura pour limite en chaque individu la nécessité de faire respecter sa personnalité; le nom n'a d'existence juridique qu'en tant que désignation d'une personnalité et n'est pas susceptible de propriété; celui qui a droit au nom ne pourra se plaindre de l'emploi du même nom par autrui que si cet emploi est illicite... Le droit au nom aura pour corollaire le devoir du nom, nul ne pouvant changer de nom parce qu'il le tient d'un usage institué dans un intérêt général, nul ne pouvant céder son nom parce qu'il n'a plus aucun droit sur son nom, une fois ce nom détaché de sa personnalité.

» Il n'y a pas place pour la conception de propriété telle qu'elle résulte du Code civil... »

On ne peut mieux dire. Il n'est pas contestable que le nom patronymique ne constitue pas une propriété, mais est seulement une institution de droit civil, ou plus exactement une institution de police civile, propre à un individu, le désignant, et de nature telle qu'il est, en lui-même, hors du commerce, incessible et insaisissable.

Il est le signe distinctif de la personnalité juridique de chaque citoyen; il lui est imposé dès sa naissance : le titulaire ne peut en disposer que suivant certaines circonstances et dans des conditions limitées et étroites (voir PLANIOL. *Traité de Droit civil*, 1re édition, nos 379 et suivants); voir aussi POUILLET, TAILLEFER et CLARO, *Traité des Marques de fabrique*, 6e édition, nos 717-720 et suivants).

Mais, pourrait-on dire, s'il est exact que le nom patronymique ne puisse constituer une propriété dont le titulaire puisse disposer, ce qui est incontestable, sa nature évolue toutefois lorsqu'il est employé comme nom commercial; par définition, sa « commercialité », c'est-à-dire sa faculté de transmission pour les besoins du commerce, lui confère un caractère particulier.

Il n'est pas douteux que ses conditions d'emploi dans ce cas vont changer; elles vont incontestablement s'étendre, mais, même envisagé comme tel, il est certain que le nom patronymique ne constitue pas davantage une véritable propriété.

M. Maunoury, dans son remarquable ouvrage sur « Le Nom commercial », n'admet pas que le nom commercial confère un droit de propriété proprement dit au détenteur et il produit de nombreux arguments à l'appui de sa thèse (voir notamment pages 201 et suivantes).

Il n'est pas nécessaire d'ailleurs d'approfondir cette intéressante question de caractère tout philosophique, pourrait-on dire, puisque, quoi que l'on puisse penser de la nature du droit que peut conférer le nom commercial, il est certain en tout cas que sa protection est strictement déterminée en France par la loi du 28 juillet 1824.

Cette loi considère comme délinquant quiconque appose ou fait apparaître par addition, retranchement ou altération quelconques sur des objets, le nom d'un fabricant, autre que celui qui en est l'auteur, etc.

Le texte ne prévoit donc que des atteintes très limitées au nom commercial et, si l'on devait s'en tenir à lui, la protection du nom serait réduite à quelques cas d'application; mais, d'autre part, le nom commercial pouvant constituer une marque et être déposé comme tel, à la condition de revêtir une forme distinctive, peut revendiquer la protection supplémentaire accordée par la loi du 23 juin 1857, c'est-à-dire être protégé contre les atteintes prévues par les articles 7 et 8 de ladite loi.

Si large que soit, en réalité, la protection assurée par les lois de 1824 et 1857, à laquelle il faut ajouter la protection conférée par les dispositions de l'article 1382 du Code civil, au titre de la concurrence déloyale, elle est cependant, il ne faut pas l'oublier, conditionnée par le caractère particulier que revêtent, par leur nature, le nom commercial et la marque de fabrique.

Comme le remarque le jurisconsulte E. Pouillet (voir la sixième édition du *Traité des Marques de fabrique et de la Concurrence déloyale*, par POUILLET, TAILLEFER et CLARO, n° 269), « ce que la loi punit, c'est l'atteinte portée au droit, c'est la volonté d'apporter une *confusion* contraire à la loyauté commerciale ».

La marque, comme le nom commercial, joue dans toutes les législations un rôle bien défini, qui est de « distinguer les produits d'une fabrication ou les objets d'un commerce ».

Tous les juristes, et la jurisprudence à leur suite, aussi bien en France que dans les divers pays, ont défini la marque (et le nom commercial doit y être assimilé lorsqu'il est employé comme marque) « le moyen matériel de garantir ou l'origine ou la provenance de la marchandise aux consommateurs » (POUILLET, TAILLEFER et CLARO. *Loc. cit.* p. 13, §§ 4 et 5; C. Paris, 16 janvier 1865, *Annales de la Propriété industrielle*, 1865, 2, p. 366; C. Paris, 3 décembre 1912; *Ibid*, 1913, 1, p. 369, etc.)

Lorsqu'on examine attentivement les travaux préparatoires de la loi de 1857, les projets de réforme, les conventions internationales et les innombrables décisions de jurisprudence, si l'on compare ces textes, ces travaux et ces décisions avec les textes, travaux et décisions de tous les pays civilisés, on constate que le but est toujours exclusivement d'assurer la garantie de l'origine de la marchandise, de protéger le consommateur contre la tromperie, dont il peut être l'objet, sur l'origine de cette marchandise, par un concurrent déloyal, de sorte que l'on peut dire que le nom patronymique ou la marque de fabrique et de commerce, employés pour exercer un commerce, ne sont protégeables qu'en fonction de leur institution même, qu'en

raison de l'objet même qui a déterminé cette institution, et qui est uniquement de garantir l'origine d'une fabrication.

Si, en France tout au moins, l'atteinte au nom commercial et à la marque est réprimée dans tous les cas où elle se manifeste, même sans qu'il soit besoin qu'une confusion ou un préjudice effectif aient lieu, par le seul fait de l'emploi matériel par l'usurpateur (POUILLET. *Loc. cit.* n° 257 à 283 ; C. Cassation, 2 janvier 1892, 15 février 1909, *Annales de la Propriété industrielle*, 1926, p. 34-39, voir notes Fernand-Jacq. *Ibid* et renvois à de précédentes notes), l'étude attentive des décisions et des faits qui les ont motivées permet de constater que dans tous les cas l'emploi du nom commercial ou de la marque avait pour effet et, en tout cas, pour but de tromper l'acheteur sur la provenances de la marchandise.

C'est ainsi que l'emploi d'un nom commercial ou d'une marque, même sans application directe sur des produits, s'il a lieu par exemple à titre d'enseigne ou même verbalement, tend toujours à rechercher la confusion avec les marchandises du véritable titulaire du nom ou de la marque ; cet emploi tend à faire bénéficier l'usurpateur de la réputation des produits du véritable ayant-droit, à tromper la clientèle sur la provenance véritable des produits vendus à l'aide de l'enseigne usurpée ou à l'aide du nom ou de la marque verbalement proféré, qui garantit au consommateur une qualité spéciale, déterminante de son achat.

Il n'est donc pas contestable, il ne peut être contesté, que le nom patronymique, employé commercialement, ou la marque de fabrique ou de commerce, ont un rôle et un but définis, limités et, par suite, lorsqu'ils sont employés en dehors de la fonction qui leur a été dévolue, ils ne peuvent bénéficier ni de la protection de la loi de 1824 ni de celle de la loi de 1857.

III. **Licéité de l'emploi à titre de référence du nom ou de la marque.** — Le titulaire d'un nom commercial ou d'une marque déposée, en dehors de l'emploi par un tiers mettant en jeu, à un titre quelconque, l'origine du produit, peut-il empêcher l'usage, écrit ou verbal, du nom ou de la marque, lorsque ce nom ou cette marque est employé uniquement pour indiquer la destination de l'objet, c'est-à-dire à titre de référence ?

Il ne pourrait, en la circonstance, invoquer que les dispositions de l'article 1382 du Code civil, auquel correspondent, dans toutes les législations, des dispositions analogues, et qui conditionne l'action en responsabilité à l'existence d'une faute, qu'il s'agisse d'une faute lourde ou d'une simple imprudence.

Le problème se ramène donc à savoir s'il y a faute, de la part d'un fabricant ou vendeur de pièces détachées, à employer comme référence le nom ou la marque d'autrui pour indiquer exclusivement la destination de l'objet, du moment qu'en fait, aucune tromperie ou tentative de tromperie n'est en cause quant à l'origine du produit et alors qu'aucune dénomination équivalente ne permet de qualifier normalement l'objet.

Précisons en citant un exemple : un fabricant ou revendeur de pièces détachées, de fabrication et de vente libres bien entendu, pour des voitures automobiles « Citroën », peut-il les présenter dans son tarif sous la forme suivante : « pièce X..., de notre fabrication, pour voiture Citroën » ?

Poser la question c'est la résoudre par l'affirmative.

Il ne peut être contesté, en effet, que le vendeur qui n'emploie le nom de « Citroën » que par nécessité, pour indiquer exclusivement la destination de la pièce détachée, alors qu'il ne peut employer un autre terme équivalent pour spécifier la nature de l'objet, pour la caractériser avec netteté, alors que, loin de chercher à tromper l'acheteur sur l'origine de la pièce détachée, il a soin de spécifier que celle-ci est de sa fabrication ; il ne peut être contesté, estimons-nous, que ce vendeur n'emploie pas le nom de « Citroën » au titre de nom commercial, dans la mesure où celui-ci garantit une fabrication, mais au même titre qu'on dénomme nécessairement un individu lorsque l'on s'adresse à lui ou lorsqu'on parle de lui, c'est-à-dire d'une façon nécessaire, de bonne foi et sans léser aucun droit.

Même si le vendeur de pièces détachées n'indique pas expressément, lorsqu'il emploie comme référence le nom ou la marque d'autrui, qu'il s'agit de pièces de sa fabrication, peut-on lui empêcher d'employer ce nom ou cette marque à titre de simple référence lorsque les circonstances de la cause font apparaître qu'aucune manœuvre de concurrence déloyale, qu'aucune tentative de confusion sur l'origine réelle de l'objet n'est mise en œuvre ?

La même solution paraît s'imposer, puisque *le nom commercial et la marque*, comme il a été démontré, *ne peuvent revendiquer de protection que dans la mesure où ils sont indicatifs de l'origine ou de la provenance du produit.*

Or, employer exclusivement, comme référence, sans que l'origine du produit soit en cause, un nom ou une marque, c'est utiliser le nom ou la marque *en dehors des conditions de protection prévues par les textes qui les réglementent*, de sorte que ni la loi du 23 juin 1857 ni celle du 28 juillet 1824 ne sont applicables et lorsqu'aucune manœuvre de concurrence déloyale ne peut être en fait relevée, l'article 1382, qui seul pourrait être invoqué, lorsque les lois précédentes sont inopérantes, ne peut être appliqué lui-même.

Ces solutions paraissent si logiques et si évidentes que l'on peut s'étonner de la divergence d'opinions qui s'est manifestée sur la question des pièces détachées et, par suite de la décision prise à Budapest à la faible majorité indiquée, par le Congrès de l'Association internationale pour la Protection de la Propriété industrielle.

Cette divergence ne peut s'expliquer que par l'absence d'objectivité et par la passion apportées dans l'examen et la discussion de la question par les partisans de l'interdiction absolue, lesquels, se basant, sans doute, sur ce que trop de vendeurs de pièces détachées n'emploient le nom et la marque, même à titre de réfé-

rence, qu'en accompagnant cet usage de manœuvres ayant pour but et pour effet d'amener la confusion sur la véritable origine des objets, ont été déterminés à étendre à tous et dans tous les cas l'interdiction, légitime seulement en cas de manœuvres de concurrence déloyale et de tromperie sur l'origine de la fabrication.

Mais vraiment si l'on étudie le problème de sang-froid, si on l'examine en fonction des conceptions qui viennent d'être exposées, on doit constater, de bonne foi, que le nom commercial et la marque, ne pouvant avoir qu'une protection déterminée et limitée, par leur rôle et leur but, conformément aux dispositions des lois qui les réglementent, ne peuvent conférer un droit aussi absolu et ayant comme conséquence d'en interdire, dans tous les cas, l'emploi, comme simple référence, quelles que soient les circonstances.

Aussi, le jugement du Tribunal civil de la Seine du 1er mars 1928, qui a fixé la jurisprudence dans ce sens aurait-il raison de poser en principe « qu'en matière d'automobiles le nombre infini des marques oblige les petits fabricants à se spécialiser dans les fournitures adaptables à l'une ou à quelques-unes d'entre elles;

» Qu'il s'ensuit la nécessité de les désigner et que cette désignation nécessaire ne constitue, en principe, qu'une simple référence permise et non un usage illicite;

» Qu'il n'est point inutile de faire observer que la solution contraire aurait pour résultat, d'une part, de faire disparaître cette industrie au grand détriment des petits fabricants, mais aussi du public et, d'autre part, par le monopole de fait accordé aux grandes marques, de prolonger la protection des brevets, au delà du terme de quinze ans prévu par la loi, empêchant ainsi la collectivité française de bénéficier de l'invention tombée dans le domaine public;

» Mais qu'en dehors de toute considération économique, la simple référence doit être permise par la seule application des principes du droit qui viennent d'être rappelés;

» Que si, au contraire, la marque, de mauvaise ou même de bonne foi, est appliquée sur l'accessoire vendu par le petit fabricant et fabriqué par lui, il y a plus qu'une référence, il y a un usage de la marque et par conséquent contrefaçon;

» Que si la marque ou la dénomination de simple référence devient une enseigne, il y a encore usage de marque contrefaite et usurpation de nom;

» Que si sous couleur de désigner telle ou telle maison, ou tel ou tel produit, on se sert en réalité du nom ou de la marque pour faire croire que l'objet vendu vient de la maison désignée et profiter ainsi du crédit de cette maison pour passer au public des produits provenant de sa propre fabrication, alors aux délits précédents vient s'ajouter le quasi-délit de concurrence déloyale;

» Que tout en résumé se ramène à une question de fait ».

IV. **Conclusion.** — La résolution du Congrès de Budapest, surprise par sentimentalisme à une faible majorité, en l'absence de nombreux congressistes, à la faveur d'une fin de séance et grâce à une confusion certaine, demeure donc sans portée.

La jurisprudence française, d'abord hésitante et qui, complètement avertie maintenant des données du problème, semble nettement fixée dans le sens que nous préconisons, contribuera sans doute à faire comprendre aux intransigeants leur erreur.

Dans la société moderne il y a place pour toutes les activités, du moment qu'elles s'exercent loyalement et honnêtement.

On ne peut pas dire qu'un fabricant de pièces détachées du domaine public commet un acte illicite lorsque, par nécessité il doit, pour la vente, les annoncer en se référant à un nom ou à une marque, qui constituent le nom courant de l'objet auquel la pièce est destinée, alors qu'il ne tente aucune manœuvre susceptible de tromper l'acheteur sur l'origine véritable de la fabrication et alors que l'acheteur n'est pas trompé et acquiert en connaissance de cause.

Il est de l'intérêt du consommateur de pouvoir se procurer facilement et à bon compte des pièces détachées d'où qu'elles viennent, quand personne ne peut prétendre au monopole de leur fabrication.

La concurrence, là comme partout ailleurs, est la condition déterminante de la qualité de la fabrication, de la modération des prix, et il serait intolérable que, par une extension arbitraire du droit conféré par la loi au nom commercial et à la marque de fabrique ou de commerce, certains industriels puissent obtenir indirectement le monopole de fabrication et de vente d'objets du domaine public.

Les lois spéciales sur la propriété industrielle et commerciale, comme la loi en général, ne peuvent assurer la protection que de droits certains et légitimes, justifiés par l'importance des services rendus à la collectivité, mais elles ne peuvent concourir à conférer des privilèges arbitraires, excessifs, tout à fait inadmissibles. La liberté du commerce et de l'industrie, qui est la base des civilisations modernes, est à la base aussi du droit qu'a tout individu d'exercer loyalement son activité. Seuls peuvent être l'objet de mesures restrictives les abus et les fraudes et il est manifeste que le commerce des pièces détachées, lorsque du moins il est exercé avec bonne foi et sans aucune manœuvre tendant à tromper l'acheteur sur l'origine de la fabrication, doit être considéré comme aussi licite que la fabrication et la vente d'objets, précédemment couverts par un brevet d'invention ou un modèle, dont la durée est expirée.

FERNAND-JACQ,
Docteur en droit, avocat à la Cour d'Appel de Paris, Secrétaire général de l'Association française pour la Protection de la Propriété industrielle, membre du Comité technique de la Propriété industrielle au Ministère du Commerce.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 12. — 20 SEPTEMBRE 1930.

Chronique. — La Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens, p. 425. — Bibliographie : Forge, découpage, emboutissage, rivetage, estampage et soudure, étamage, zingage, plombage, par René CHAMPLY, p. 425 ; Die Elektromagnete (Les électroaimants), par Erich JASSE, p. 426 ; Exécution des enroulements des machines triphasées, par Maurice LE CADRE, p. 426 ; A study of the induction motor. (Une étude du moteur d'induction), par F.-T. CHAPMAN, p. 426 ; Engineering Reports of the Joint Subcommittee of development and research of the National electric Light Association and the Bell Telephone System (Rapports du sous-comité pour l'avancement des recherches de la National electric Light Association et de la Bell Telephone System réunies), p. 426 ; Machines à vapeur, par René CHAMPLY, p. 428 ; Il fattore di potenza (Le facteur de puissance), par Giuseppe FINOCCHI, p 428.

Eugène Schwarberg, p. 427-428.

Section scientifique et technique. — Intensité lumineuse moyenne conique. Applications à l'éclairage électrique des surfaces circulaires, par H. PÉCHEUX, p. 429. — Revues, analyses et informations : La chute de tension dans les transformateurs à trois enroulements, p. 437 ; Une preuve d'application aux lignes de transmission du diagramme du cercle des moteurs d'induction, p. 438 ; Présentation d'un appareil d'éclairage pour films sonores, p. 440.

Section industrielle. — Le parafoudre universel « corona » à chambre d'ionisation, par C. FRANCK, p. 441. — Etude analytique du fonctionnement de groupes électrogènes en parallèle au cours d'une variation de charge (*suite et fin*), par L. BARBILLION, p. 447. — Revues, analyses et informations : Connaissances actuelles relatives à l'action des ondes à front raide sur les réseaux électriques, p. 456 ; Les photomètres modernes pour la mesure de l'éclairement et leur emploi, p. 458 ; L'emploi de barres générales de protection au poste de sectionnement de Brunot Island de la Duquesne Light Company, p. 459.

Section économique et financière. Assemblées générales : Société d'Electricité de Caen, p. 461 ; Société hydroélectrique de Fure et Morge et de Vizille, p. 462.

Section de législation. — Les conditions légales d'établissement des postes de diffusion, par Achille MESTRE, p. 463.

La Semaine de Discussions de la Société française des Electriciens. — La Société française des Electriciens nous informe que, pour répondre au désir exprimé par plusieurs de ses membres, la Semaine de Discussions a été reportée, cette année à la dernière semaine de novembre, soit du lundi 24 au samedi 29. Les réunion des différentes sections techniques du Comité d'Aministration seront réparties de la façon suivante : lundi 24, séance de la deuxième Section ; mardi 25, séance de la troisième Section ; mercredi 26, séance de la première Section ; jeudi 27, séance de la quatrième Section (principalement consacrée à la traction électrique) ; vendredi 28, séance de la sixième Section ; samedi 29, séance de la cinquième Section.

Les réunions auront lieu dans l'hôtel de la Société des Ingénieurs civils de France, 19, rue Blanche, à Paris, à 14 h 30 et seront reprises, le cas échéant, à 21 heures.

Un dîner de clôture, auquel tous les membres de la Société française des Electriciens sont priés de prendre part, aura lieu le samedi 29 novembre, à 19 h 30, dans les salons de la Maison des X, 12, rue de Poitiers. Le Comité d'Administration espère que comme les années précédentes, les dames voudront bien honorer ce dîner de leur présence.

Bibliographie : Forge, découpage, emboutissage, rivetage, estampage et soudure, étamage, zingage, plombage, par René CHAMPLY (1). — Ce quinzième volume de l'Encyclopédie pratique des Constructeurs renferme une documentation complète sur les forges et les fours équipés avec tous moyens de chauffage : charbon, coke, gaz, huiles, électricité. Les procédés de travail à froid et à chaud pour les rivures, l'estampage, l'emboutissage et la soudure y sont décrits avec de nombreux renseignements précieux dans la pratique. C'est ainsi que les dimensions des rivets et leur disposition sont minutieusement indiquées ; les tableaux donnés pour la détermination du diamètre des flans d'emboutissage n'ont d'équivalent dans aucun autre ouvrage ; enfin la fabrication des matrices et des poinçons, d'une part, et la soudure autogène, d'autre part font l'objet de chapitres bien documentés.

L'ouvrage est divisé en cinq parties consacrées respectivement aux sujets suivants : forges et fours ; rivets et rivetage à la machine ; frappe, découpage, emboutissage et estampage ; les soudures ; étamage, zingage, plombage.

Dans la partie consacrée aux forges et aux fours sont étudiés : l'alimentation d'air, l'évacuation des fumées, les forges modernes, les outils de forge et de façonnage au marteau,

(1) Un volume, format 18 cm × 11,5 cm, de 260 pages, avec 215 figures dans le texte, édité par la librairie Ch. Béranger, 15, rue des Saints Pères, à Paris (6e). Prix : broché, 23 fr ; cartonné toile, 28 fr.

les fours à forger et à réchauffer, les forges électriques, les machines à forger.

Le rivetage est envisagé au point de vue de la disposition des rivures, du chauffage des rivets et du rivetage proprement dit.

L'auteur passe en revue les diverses méthodes de soudures, qui font l'objet de chapitres spéciaux consacrés à la soudure à l'étain, à la brasure, à l'aluminothermie, à la soudure à chaude portée, à la soudure autogène et au découpage électrique.

Cet ouvrage sera particulièrement utile à tous ceux qui s'occupent du travail des métaux par les procédés modernes. — R. L.

Bibliographie : Die Elektromagnete (Les électro-aimants), par Erich Jasse (1). — Le calcul des électro-aimants a déjà fait l'objet de nombreuses publications, généralement éparses dans les revues techniques, ainsi que l'atteste d'ailleurs la liste de quelques-unes de ces publications qui figure à la fin de l'ouvrage ; nous ne relevons dans cette liste de publications, qui sont pour la plupart des publications allemandes, qu'une seule étude française, celle de M. A. Guilbert ; l'auteur semble avoir omis, en particulier, les études importantes de M. Weiss et de M. Cotton qui ont conduit à la réalisation de l'électroaimant de l'Académie des Sciences, sans parler d'autres travaux publiés en France ; on ne trouve aucune allusion, dans l'ouvrage, à cet électroaimant, ni à aucun électroaimant capable de créer des champs dont l'intensité atteigne celle que l'on mesure dans l'entrefer de l'appareil en question.

Cette omission signalée, venons-en à ce que donne l'ouvrage : de nombreuses formules pour le calcul des électroaimants. Après avoir établi les relations fondamentales entre la force d'attraction d'un électroaimant, l'intensité du courant ou la tension et les dimensions et caractéristiques du circuit magnétique, l'auteur applique ces relations à des cas particuliers dont l'étude est largement développée ; les résultats théoriques sont accompagnés d'exemples numériques effectués sur des modèles d'électroaimants bien définis.

Un chapitre mérite d'être mentionné, c'est celui relatif à l'électroaimant alimenté en courant triphasé. A noter également les chapitres consacrés au calcul des bobines d'électroaimants. — A. C.

Bibliographie : Exécution des enroulements des machines triphasées, par Maurice Le Cadre (2). — Cet ouvrage, d'une portée toute pratique, a pour but principal d'exposer les principes de la représentation schématique des divers modes de bobinages et la réalisation de leurs connexions pour constituer un enroulement répondant aux caractéristiques de la machine envisagée.

Dans le premier des deux chapitres qui divisent cet ouvrage, l'auteur traite des modes de construction et de montage des différentes parties des machines électriques puis des divers enroulements induits des générateurs synchrones et des machines asynchrones avec de nombreuses descriptions de types de bobinages et de leur réalisation ; il étudie ensuite les enroulements rotoriques, la détermination du nombre d'encoches par pôle et par phase et la représentation schématique des enroulements.

Le deuxième chapitre est entièrement consacré à la figuration des schémas d'enroulements statoriques et rotoriques se rapportant à des machines à deux, quatre, six ..., quatorze pôles. — R. G.

Bibliographie : A study of the induction motor. (Une étude du moteur d'induction), par F.-T. Chapman (1). — Cet ouvrage expose la théorie du moteur d'induction dans l'hypothèse où le champ dans l'entrefer étant ramené à plusieurs composantes dont la distribution est sinusoïdale, seule l'onde fondamentale intervient d'une façon effective dans la transmission d'énergie du stator au rotor.

Après une introduction et l'étude d'un moteur dans l'hypothèse d'un nombre infini de phases, constituant la matière des deux premiers chapitres, l'auteur consacre les trois chapitres suivants respectivement à l'exposé d'une théorie graphique comprenant les différents diagrammes du moteur, à sa construction mécanique et aux divers types d'enroulements. Les chapitres suivants se rapportent successivement au calcul de l'inductance d'un enroulement dans différents cas, à l'analyse du champ dans l'entrefer, à une étude du rotor en cage d'écureuil, aux champs qui y prennent naissance et enfin aux réactions entre les circuits du stator et du rotor. Viennent ensuite des considérations, sur les moteurs d'induction, notamment ceux à plusieurs vitesses, sur le moteur en cascade et sur le moteur de Hunt.

Dans le seizième chapitre, l'auteur traite du démarrage des moteurs d'induction. Les deux chapitres suivants s'occupent du circuit magnétique, des effets de la saturation et de la pulsation du flux. Des calculs pratiques et la détermination expérimentale du cercle des intensités de courant terminent cet intéressant ouvrage. — R. G.

Bibliographie : Engineering Reports of the Joint Subcommittee of development and research of the National electric Light Association and the Bell Telephone System (Rapports du sous-comité pour l'avancement des recherches de la National electric Light Association et de la Bell Telephone System réunies) (2). — Ce volume est le premier de ceux où sont réunis les résultats des travaux du sous-comité susnommé. Sur les huit rapports présentés, les trois premiers le sont seulement par leur titre ; le texte des autres est publié in-extenso. Tous ces rapports ont trait à l'étude de l'établissement d'une ligne de transmission d'énergie parallèlement à une ligne téléphonique, au point de vue de leur influence mutuelle Parmi les résultats de cette étude, qui s'est étendue sur une durée de cinq années, il y a lieu de citer ceux concernant la distribution des courants et des tensions dans une ligne de transmission à 33 kv, lors d'une mise à la terre ; l'étude de la répartition du potentiel autour des conducteurs aboutissant à une sous-station et des coefficients de couplage entre un câble souterrain de transmission d'énergie et une ligne téléphonique aérienne ; enfin, une nouvelle méthode d'essais sur des portions isolées d'une ligne téléphonique exposée à des actions inductives. — R. G.

(1) Un volume, format 24 cm × 16,5 cm, de 198 pages, avec 117 figures dans le texte, édité par la librairie Julius Springer, 23-24, Linkstrasse, Berlin W. 9. Prix : broché, 21 marks ; relié, 22,5 marks.

(2) Un volume, format 25 cm × 16,5 cm, de 128 pages, avec 72 figures et 53 schémas dans le texte, édité par la librairie Dunod, 92, rue Bonaparte, à Paris (6e). Prix : relié, 40 fr ; broché, 31 fr.

(1) Un volume, format 25 cm × 16,5 cm, de 289 pages, avec 20 figures dans le texte, édité par la librairie Chapman and Hall, 11, Henrietta Street, Covent Garden, à Londres (W. C. 2) Prix : relié, 21 shillings

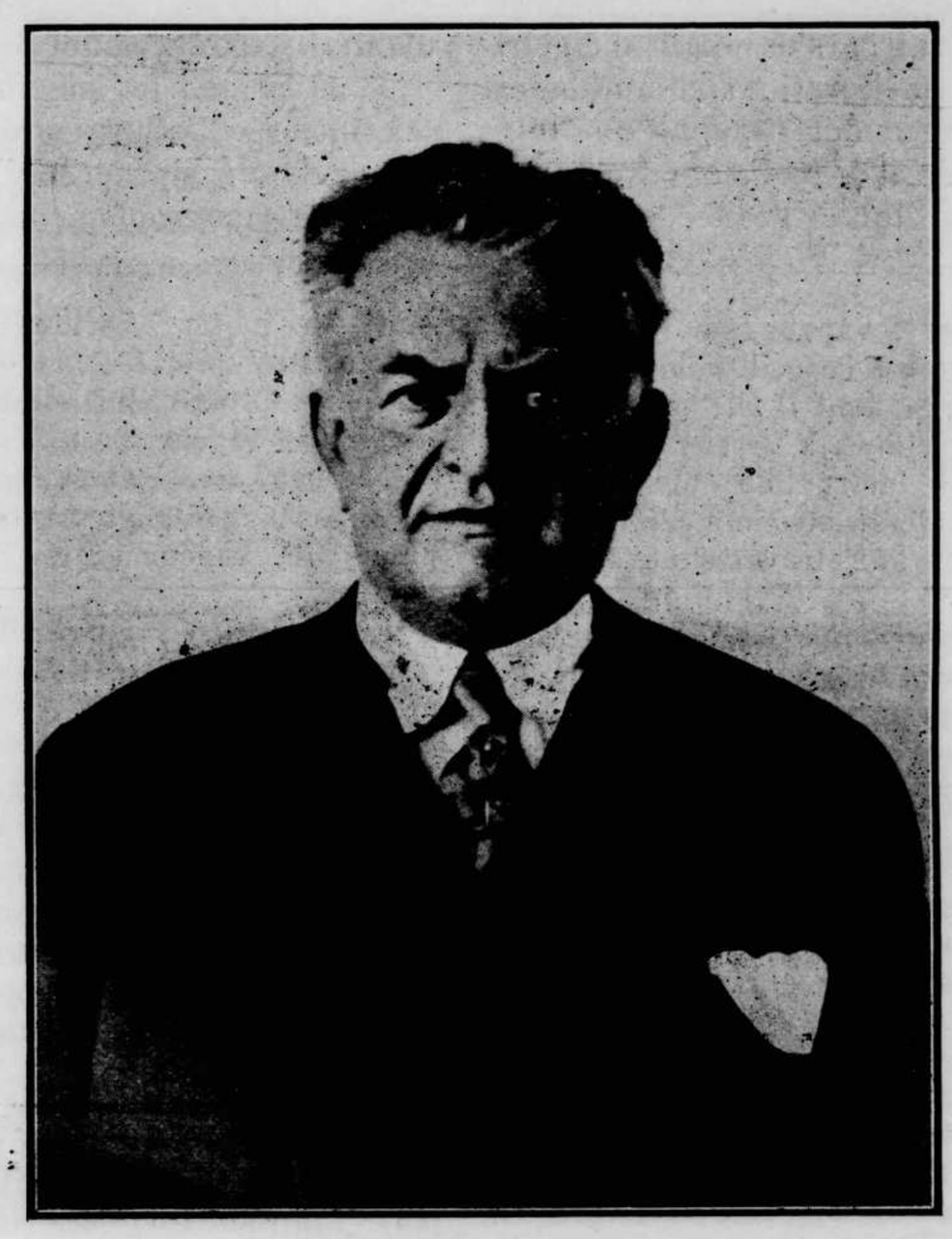
(2) Un volume, format 30 cm × 22,5 cm, de 249 pages, édité par la National electric Light Association, 420, Lexington Avenue, New-York City. Prix : relié, 10 dollars.

Eugène Schwarberg

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

Nous avons annoncé (1) le décès, survenu le 2 juillet 1930, de M. Eugène Schwarberg, directeur général de la Compagnie Electro-Mécanique, vice-président de l'Union des Syndicats de l'Electricité. La situation importante qu'occupait M. Schwarberg dans l'industrie électrique française méritait d'être relevée ici, d'abord en témoignage de respectueux souvenir et ensuite, parce que par son activité féconde la vie de M. Schwarberg est un exemple.

Né à Sainte-Marie-aux-Mines, le 28 février 1864, Eugène Schwarberg, après sa sortie de l'Ecole professionnelle de Mulhouse, occupa diverses situations en France et à l'étranger; puis il entra comme ingénieur aux Etablissements Weyher et Richemond, constructeurs de machines à vapeur. En 1892, E. Schwarberg fut désigné pour occuper le poste d'ingénieur en chef de la Compagnie Electro-Mécanique, fondée en 1885 et à laquelle les établissements précités étaient intéressés; quatre ans après, en 1896, il en devenait le directeur et c'est la mort qui récemment l'arracha à ce poste. La carrière de E. Schwarberg est tout entière dans le développement de la Compagnie Electro Mécanique, entreprise qui est son œuvre et dont on connaît l'importance dans l'industrie électrique; c'est à elle et, en grande partie, à son regretté directeur que sont dus, en particulier, les installations en France, en nombre rapidement croissant, de turbines à vapeur du système Brown Boveri-Parsons et, d'une façon générale, le développement des applications mécaniques les plus diverses de l'électricité.



Eugène SCHWARBERG
(1864-1930)

Mais si le nom de Schwarberg est intimement lié à celui de la Compagnie Electro-Mécanique et si son décès jette le deuil dans sa « maison », l'industrie électrique française tout entière participe à ce deuil, car l'activité d'Eugène Schwarberg ne se limita pas à son rôle de directeur de la Compagnie Electro-Mécanique. Membre de la plupart des groupements et associations professionnels ou techniques, tels que le Syndicat général de la Construction électrique, l'Union des Syndicats de l'Electricité, la Chambre syndicale des Constructeurs de gros Matériel électrique, le Groupe des Industries métallurgiques, mécaniques et connexes de la Région parisienne, la Fédération de la Mécanique, la Société française des Electriciens, l'Association amicale des Ingénieurs Electriciens de France, la Société des Ingénieurs civils de France, la Société industrielle de Mulhouse, E. Schwarberg remplit dans plusieurs de ces organismes des fonctions importantes. C'est ainsi que de 1921 à 1923 il fut président du Syndicat professionnel des Industries électriques devenu ultérieurement le Syndicat général de la Construction électrique; en sa qualité de président, il représenta ledit Syndicat à l'Exposition de Gand relative aux applications de la mécanique et de l'électricité et à celle de Thann, ayant pour objet des travaux d'apprentis, compagnons et maîtres. L'intérêt que E. Schwarberg porta à la question si importante de l'apprentissage le fit nommer membre de la Commission de l'Enseignement technique et de l'Apprentissage de l'Union des Syndicats de l'Electricité. En 1928, il fut élu vice-président de l'Union des Syndicats de l'Electricité et président du groupe I de l'Union des Syndicats de l'Electricité. Membre du conseil d'administration de la Chambre syndicale des Constructions de gros Matériel électrique et du conseil de direction de la Fédération de la Mécanique, il occupa un des trois sièges réservés à l'industrie électrique à l'Office national des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions; il fut également membre du conseil d'administration de la

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 12 juillet 1930, t. XXVIII, p. 12 B.

Foire de Paris, dans le groupe de l'Electricité. Les nombreuses sympathies que E. Schwarberg savait s'acquérir lui ont valu d'être nommé vice-président de l'Association amicale des Ingénieurs électriciens de France.

Cette énumération, d'ailleurs incomplète, des diverses fonctions qu'eut à remplir E. Schwarberg dans sa carrière fait ressortir son inlassable activité; il n'hésitait jamais à s'imposer de nouvelles charges ; jamais, il ne refusait son concours lorsqu'il pensait qu'il pouvait être utile et rendre service. C'est ainsi qu'il avait accepté, par dévouement, un mandat de conseiller municipal, puis de maire, dans la petite commune de Montévrain, où il aimait à passer les quelques instants de repos qu'il s'octroyait, tout en s'occupant d'électrification rurale et d'autres améliorations communales. Il trouvait le temps, en guise de délassement, de s'intéresser à des œuvres sportives et de diriger le dimanche, comme membre du Touring Club de France, des excursions qu'il savait animer de son entrain et de sa bonne humeur. A son ardeur au travail, Eugène Schwarberg ajoutait des qualités de cœur. Ceux qui l'ont approché et connu n'oublieront pas la cordialité de son accueil, sa courtoisie parfaite, son souci de comprendre le point de vue de son interlocuteur. Il créait la confiance, et il avait le don inné de la conciliation qui lui gardait pour toujours la sympathie de ceux qui l'avaient une fois rencontré. Ce sont ces qualités qui permettent à l'Administration de la Compagnie Electro-Mécanique de donner à son personnel la recommandation suivante :

« Gardons pieusement son souvenir en nous inspirant chaque jour des grands exemples de dévouement, d'activité, de travail et de bonté qu'il nous a laissés ».

Nous prions les membres de la famille en deuil et les fidèles collaborateurs de E. Schwarberg, si péniblement surpris de son rapide décès, de trouver ici l'expression de notre sincère sympathie. — A. C.

Bibliographie : Machines à vapeur, par René Champly (1). — Cet ouvrage conforme à l'esprit de la « Nouvelle Encyclopédie des Constructeurs », dont il fait partie, met la théorie et la technique des machines à vapeur à la portée des praticiens n'ayant qu'une instruction élémentaire. Il contient des données pratiques applicables immédiatement et sans calculs trop compliqués aux travaux de tous les jours.

L'étude des machines à vapeur a nécessité un livre plus important que ses prédécesseurs de la même collection. On y trouve l'étude des foyers, des cheminées, des grilles fixes et mobiles, du charbon pulvérisé, des chaudières et des mouvements de machines à vapeur depuis les plus anciens jusqu'aux chaudières à tubes d'eau à haute pression et aux turbines à vapeur les plus récantes.

La documentation considérable contenue dans ce volume lui confère un intérêt de premier ordre; il contient des renseignements nouveaux sur les condenseurs et les réfrigérants récupérateurs d'eau.

La première partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude des générateurs de vapeur. Après des généralités sur la vapeur d'eau et les combustibles, l'auteur étudie les foyers, les grilles, le tirage artificiel, la chauffe au moyen de divers combustibles. Un chapitre est consacré aux chaudières en général, d'autres aux tubes, aux enveloppes calorifuges, à la circulation de l'eau et à l'alimentation des chaudières. Enfin divers auxiliaires sont étudiés séparément tels que surchauffeurs, réchauffeurs d'eau d'alimentation, économiseurs, sécheurs et séparateurs d'eau et d'huile.

La condensation de la vapeur fait l'objet de la seconde partie. L'auteur consacre un chapitre spécial à chacun des sujets suivants : condenseurs, par mélanges, condenseurs par surface, éjecto-condenseurs, éjecteurs d'air, installations de condenseurs, réfrigérants.

L'étude des moteurs à vapeur fait l'objet de la troisième partie de l'ouvrage. Les premiers chapitres sont consacrés à la machine à piston, à la distribution de vapeur au cylindre, aux machines verticales, aux machines équicourants, aux moteurs oscillants, aux changements de marche. Un chapitre spécial concerne les moteurs à air comprimé. Enfin, un autre chapitre plus important est consacré aux turbines à vapeur.

L'ouvrage contient la reproduction du texte du décret du 2 avril 1926 réglementant les générateurs et les récipients de vapeur autres que ceux placés à bord des navires.

Il est complété par une bibliographie relative aux publications les plus essentielles sur le sujet des appareils à vapeur. — R. L.

(1) Un volume, format 18 cm × 11,5 cm, de 305 pages, avec 242 figures dans le texte, édité par la librairie Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, à Paris (6e). Prix : broché, 30 fr; cartonné toile, 35 fr.

Bibliographie : Il fattore di potenza (Le facteur de puissance), par Giuseppe Finocchi (1). — En élaborant le présent ouvrage, l'auteur a eu pour but de fixer les idées sur la notion du facteur de puissance dans les réseaux de distribution d'énergie électrique ; notion qui, bien que relativement simple conserve néanmoins un caractère quelque peu mystérieux pour un grand nombre d'usagers de l'électricité.

Les notions de facteur de puissance et d'énergie réactive ont acquis une importance majeure dans la pratique de la production et de la distribution de l'énergie électrique ; de plus, l'introduction des tarifications d'énergie réactive soulève des problèmes auxquels les usagers du courant sont intéressés au premier chef. Montrer clairement ce qu'est le facteur de puissance, les éléments dont il dépend, comment on l'améliore, comment on le mesure et enfin comment on en tient compte dans les divers systèmes de tarification, telles sont les diverses questions envisagées au cours de cet intéressant ouvrage.

Bien que d'un caractère assez élémentaire en raison de la catégorie de lecteurs auxquels il s'adresse, le travail de M. G. Finocchi conserve une tenue scientifique satisfaisante et sera certainement apprécié des ingénieurs désireux d'acquérir une base suffisante pour la compréhension des nombreux mémoires dont le sujet traité a fait l'objet par ailleurs. — L. V.

(1) Un volume, format 24 cm × 17 cm, de 227 pages, avec 134 figures dans le texte, édité par la librairie Ulrico Hœpli, galleria de Cristoforis, à Milan. Prix : broché, 22 lire.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Intensité lumineuse moyenne conique
Applications à l'éclairage électrique des surfaces circulaires

L'auteur a montré dans une précédente étude (*) comment l'on calcule l'intensité moyenne d'un foyer lumineux pour obtenir un éclairement moyen, donné à l'avance, sur une surface circulaire. Il traite, dans les lignes qui suivent, de la méthode de détermination, à l'aide du diagramme de Rousseau, de cette intensité moyenne dans l'angle conique utile, en partant d'une lampe dont on connaît l'intensité moyenne sphérique; de ces données sont déduites les caractéristiques de l'appareillage dont il faut munir ladite lampe, à l'effet d'obtenir le résultat imposé à l'avance.

I. **Méthode générale de détermination de l'intensité moyenne conique.** — Nous allons montrer comment, en partant d'une lampe dont on connaît le diagramme polaire des intensités lumineuses (lampe à ampoule claire, c'est-à-dire lampe « nue »), on peut obtenir, par la méthode graphique, l'intensité moyenne I_c dans un angle conique donné, celui qui est déterminé par le centre de figure de la lampe, soit le sommet, et par la surface circulaire à éclairer qui est la directrice du cône lumineux.

1. Détermination de l'intensité moyenne d'une lampe nue. — Considérons (fig. 1) le diagramme polaire P d'une lampe nue à incandescence au tungstène à atmosphère gazeuse de 400 à 500 bougies, diagramme que nous avons relevé au préalable, le centre de figure s' étant à la hauteur h, en mètres, du cercle O de rayon R en mètres, le pied de la verticale de la lampe étant en un point a' de la circonférence et le cône lumineux produisant l'éclairement du cercle O étant s' a' b'; l'on a toujours s' b' $= r$, en mètres, la portion de sphère de centre s' et de rayon r découpée par le cône étant comprise entre les deux branches de courbe projetées, verticalement en Z', horizontalement en Z; la projection horizontale de cette courbe, déterminée par les procédés de la géométrie descriptive, est formée de deux branches symétriques par rapport à la trace horizontale sb du plan diamétral s'a' b' du cône lumineux. Nous n'avons figuré que la branche de courbe en avant de ce plan.

Le cas de la figure est celui pour lequel

$$a = \frac{R}{h} = 3$$

(cas considéré dans notre article précité).

Le flux lumineux produit par le rayon d'intensité I_3, par exemple, dans le cône élémentaire s' m''$_3$ n''$_3$ est $dF = I_3\, d\omega$, $d\omega$ étant l'ouverture du cône, ce cône découpe, sur la portion de sphère considérée, une surface élémentaire $d\sigma$ et l'on a

$$dF = I_3 \frac{d\sigma}{r^2}.$$

Remarquons que cette surface $d\sigma$ est celle d'une zone sphérique incomplète, limitée par la courbe d'intersection Z'Z; cette zone est projetée, en vraie grandeur, horizontalement, selon deux arcs de circonférence, l'un de rayon $\gamma M_3 = \gamma'' m''_3$ et dont $m_3 M_3$ est la moitié, l'autre, infiniment voisin du précédent; l'angle d'ouverture de cette zone est $\alpha_3 = 2 m_3\, \gamma\, M_3$. Il est facile de vérifier géométriquement que la surface de cette zone incomplète est à celle de la zone sphérique totale de même rayon et de même hauteur, dans la même sphère, comme α_3 est à 2π; on aura donc, si $d\varepsilon$ est la hauteur de la zone et α_3, exprimé en radians

$$d\sigma = 2\pi r\, d\varepsilon \times \frac{\alpha_3}{2\pi} = r\, \alpha_3 d\varepsilon.$$

On aura alors, pour le flux élémentaire lumineux à travers cette zone,

$$dF = \frac{I_3}{r^2}\, d\sigma = \frac{1}{r} I_3\, \alpha_3\, d\varepsilon.$$

Posons

$$I_3\, \alpha_3 = i_3, \quad \text{d'où} \quad dF = \frac{1}{r}\, i_3\, d\varepsilon.$$

Le flux total, — dans le cône b's'c' — sera

$$F = \frac{1}{r} \int i_3\, d\varepsilon. \qquad (1)$$

Cette intégrale sera représentée graphiquement par la sommation des petits rectangles élémentaires tels que μ_3 M''$_3$ N''$_3$, de la figure 1, ayant pour hauteur $d\varepsilon$, et pour base $i_3 = I_3\, \alpha_3$.

(*) H. Péchreux. De l'éclairement moyen des espaces circulaires. *Revue générale de l'Electricité*, 31 mai 1930, t. XXVII, p. 843-851.

Nous donnons aux produits de la forme $I_3\ \alpha_3$ le nom « d'intensités lumineuses réduites ». Il suffira, pour chacune des intensités $I_0, I_1, \ldots I_6$, de faire la construction graphique appliquée précédemment à l'intensité I_3 et de déterminer, sur la projection horizontale de la courbe Z, les demi-ouvertures de zone correspondantes,

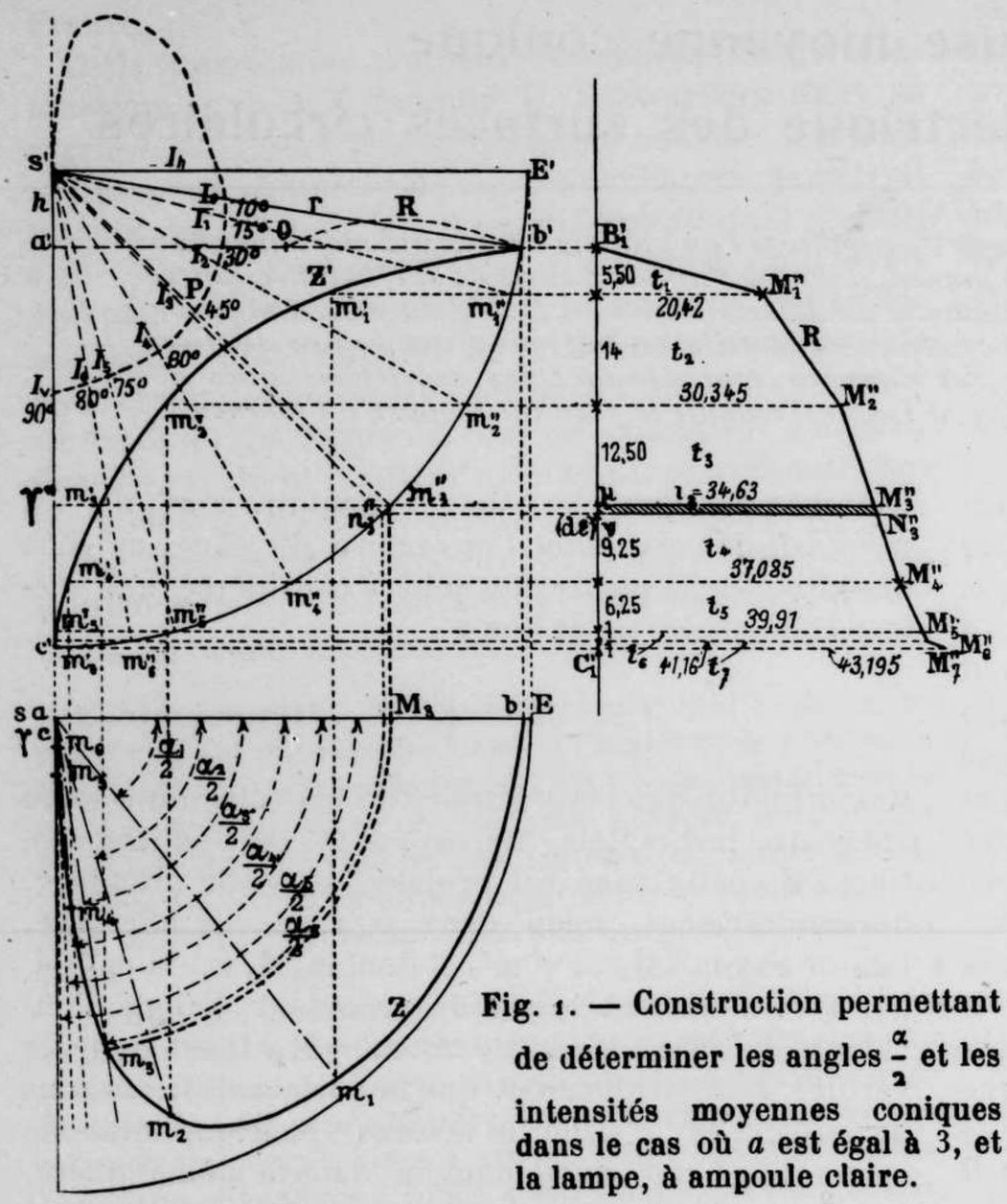


Fig. 1. — Construction permettant de déterminer les angles $\frac{\alpha}{2}$ et les intensités moyennes coniques dans le cas où a est égal à 3, et la lampe, à ampoule claire.

$\frac{\alpha_0}{2}$, $\frac{\alpha_1}{2}$, etc., $\frac{\alpha_6}{2}$; d'effectuer les produits $\alpha_0 I_0, \alpha_1 I_1, \ldots \alpha_6 I_6$, soit, respectivement $i_0, i_1, \ldots i_6$, et de construire le diagramme de Rousseau R de ces intensités réduites; l'intégrale $\int i_3 \, d\varepsilon$ sera représentée par l'aire T de la surface $B'_1\ M''_1 \ldots M''_3\ M''_7\ C'_1$ et l'on aura

$$F = \frac{1}{r} T. \qquad (2)$$

D'autre part, nous avons obtenu pour le flux dû à une lampe, dans l'angle conique b' s' c', l'expression

$$F = I_c \left(\pi - \frac{2h}{r} S\right); \qquad (3)$$

laquelle, identifiée à l'expression (2) nous donne l'intensité moyenne conique I_c cherchée

$$I_c = \frac{T}{r\left(\pi - 2\frac{h}{r} S\right)}. \qquad (4)$$

Cette formule est générale et s'applique dans tous les cas semblables.

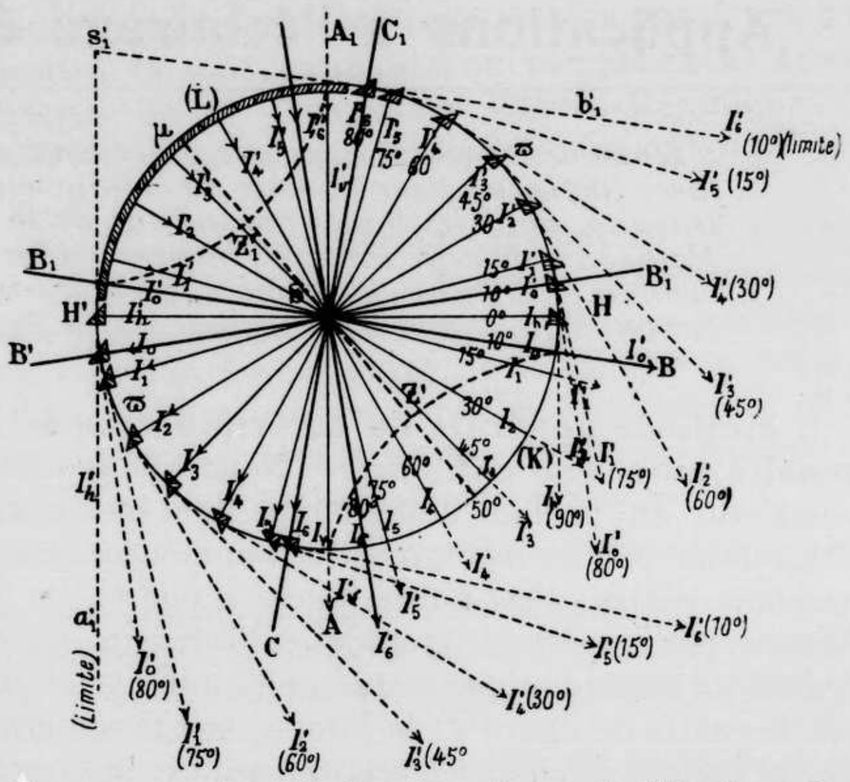


Fig. 2. — Construction montrant l'utilisation des rayons lumineux directs et réfléchis dans l'angle conique d'éclairement, avec un globe avec miroirs et prismes à réflexion totale.

2. Calcul des intensités réduites. — Pour obtenir les intensités réduites i, nous avons relevé sur la figure 1 les angles $\frac{\alpha}{2}$ correspondant aux diverses intensités réelles I du diagramme polaire, dans l'angle qui nous intéresse b's'c'; les intensités I (I_0, I_1, I_2, etc.) sont inclinées à 15°; l'intensité I_0 correspond à l'angle de 10°, valeur très voisine de l'angle limite formé par la génératrice s' b' avec l'horizon; on a, en effet

$$\text{tg E's'b'} = \frac{h}{2R} = \frac{1}{2a} = \frac{1}{6};$$

d'où E's'b' = 9°30'; l'intensité verticale I_v est la plus grande dans ce type de lampe électrique à atmosphère gazeuse.

Voici les valeurs de I, aux diverses inclinaisons, et en millimètres, les valeurs des ouvertures de zone, α, en degrés et en radians, et les intensités réduites i; nous transformerons ensuite les intensités en bougies décimales, à l'aide de l'échelle adoptée.

Inclinaisons sous l'horizon, en degrés..	10	15	30	45	60	75	80	90
$\frac{\alpha}{2}$ (en degrés).....	0	52	74	81	85	88	89	90
α (en degrés).....	0	104	148	162	170	176	178	180
α (en radians).....	0	1,815	2,583	2,827	2,967	3,071	3,106	3,1416
I (en millimètres).....	22	22,5	23,5	24,5	25	26	26,5	27,5
$i = \alpha I$ (en millimètres).....	0	40,84	60,69	69,26	74,17	79,82	82,32	86,39

3. Calcul de I_c. — Dans le cas de figure actuel, $a = 3$, nous avons pour les éléments de l'expression $\left(\pi - \frac{2h}{r} S\right)$, (1)

$$\frac{h}{r} = 0{,}1644; \quad S = 2{,}236;$$

d'où

$$\pi - \frac{2h}{r} S = 3{,}1416 - 2 \times 0{,}1644 \times 2{,}236 = 2{,}4064.$$

L'aire T du diagramme de Rousseau (fig. 1), où les hauteurs sont à l'échelle 1 et les bases i à l'échelle 1/2, vaudra

$$T = 2\,(t_1 + t_2 + \ldots + t_7) = 2 \times 1\,472{,}607 \text{ mm}^2$$
$$= 2\,945{,}214 \text{ mm}^2.$$

On a, d'autre part, $r = 59$ mm ; d'où, avec la formule (4)

$$I_c = \frac{2\,945{,}214}{59 \times 2{,}4064} = 20{,}74 \text{ mm}.$$

La figure du diagramme est à l'échelle ; 1 mm $\equiv$ 22 b d ; d'où

$$I_c = 22 \times 20{,}74 = 456{,}28 \text{ bd}.$$

Remarques. — 1. Le calcul, fait antérieurement, de l'intensité moyenne hémisphérique inférieure nous a donné $I_{\frac{s}{2}} = 523$ bd ; l'intensité lumineuse horizontale vaut $22 \times 20{,}5 = 451$ bd.

2. Une telle utilisation du foyer lumineux est très peu économique ; en employant, en effet, une lampe nue, toutes les radiations lumineuses en dehors du cône utile b′ s′ c′ sont perdues pour l'éclairage de la surface circulaire. Il y a donc nécessité, pour obtenir un éclairage économique, d'utiliser toutes les radiations émises par la lampe, en les envoyant, par un dispositif approprié, dans l'angle conique en question ; il s'agit d'employer, à cet effet, une lampe appareillée comme nous allons l'indiquer.

II. **Application de la méthode à une lampe appareillée.** — 1. Dispositif a adopter. — Considérons (fig. 2), un globe sphérique en verre, enveloppant la lampe nue étudiée précédemment, et non figurée, et dont le centre S est confondu avec le centre de figure de cette lampe, avec un rayon SH égal à la plus grande intensité lumineuse de cette lampe ; nous y avons rapporté, à l'échelle correspondant au passage de la sphère de rayon $r = 59$ mm (fig. 1) à cette sphère de rayon SH = 27,5 mm, la courbe Z′ d'intersection avec le cône utile BSA, ainsi que sa symétrique Z'_1 par rapport au centre. Seules les radiations de l'angle conique BSA sortiront librement, ce sont les radiations directes ; il s'agit de renvoyer dans ce cône toutes les autres radiations, en les dirigeant parallèlement aux radiations directes.

Pour les rayons dirigés naturellement dans le cône A_1SB_1 opposé par le sommet au cône utile ASB, il suffira de les réfléchir pour les renvoyer en sens inverse ; la portion μ du globe sphérique comprise entre les deux branches projetées en Z'_1 devra donc être munie d'un dépôt argenté, pour constituer une surface réfléchissante.

Quant aux rayons qui se dirigent naturellement à travers la sphère, entre les deux courbes Z′ et Z'_1, il faut les réfléchir totalement ; la surface du globe S devra donc être pourvue de prismes de verre rectangles

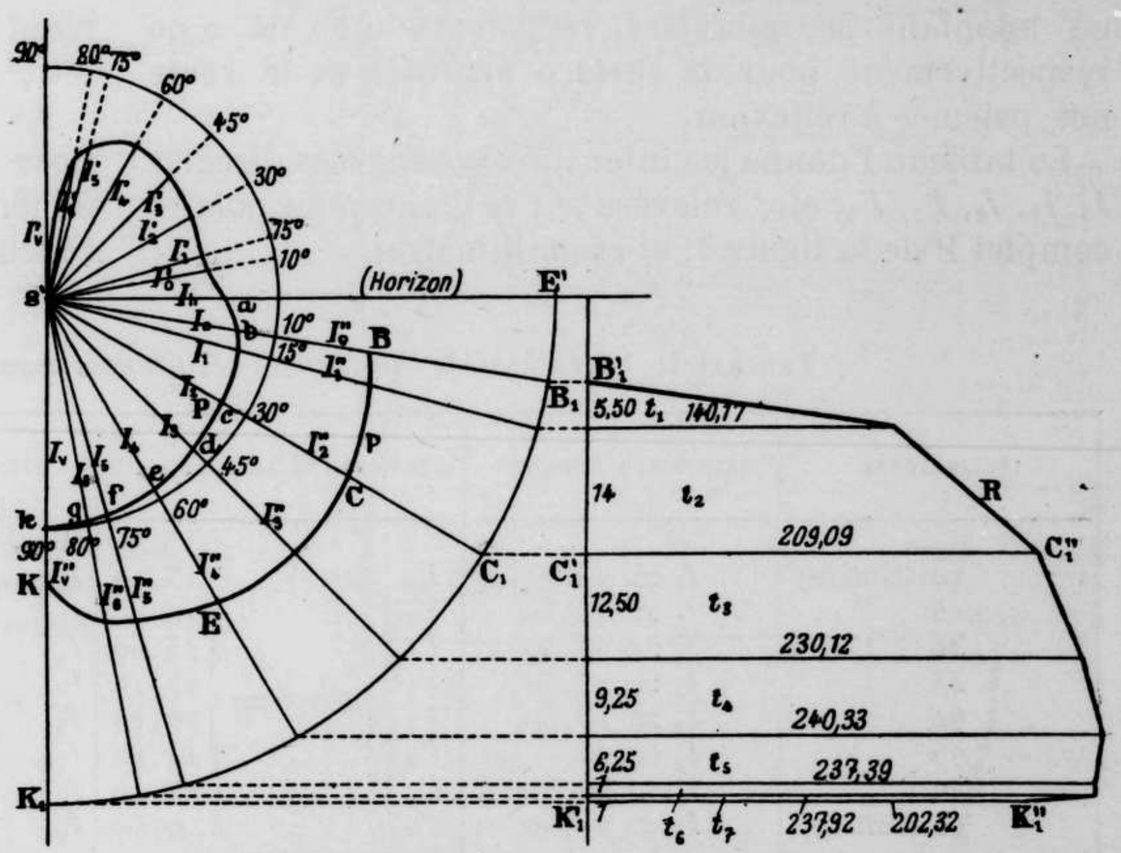


Fig. 3. — Diagrammes polaires P et p et de Rousseau R, en vue de la détermination de l'intensité moyenne conique d'une lampe appareillée, pour $a = 3$.

isocèles, à réflexion totale (tel ϖ) noircis sur la face hypoténuse et présentant l'une des faces du dièdre droit perpendiculairement au rayon qui la frappe ; le rayon réfléchi totalement sur la face hypoténuse sortant perpendiculairement à la deuxième face du dièdre droit, faisant avec l'horizon un angle complémentaire de celui que faisait le rayon incident.

La figure 2 donne les directions de tous les rayons, directs et réfléchis ; ils se trouvent tous dans l'angle $C_1S'_1H'$, égal à l'angle du cône utile BSA, et enveloppant le globe S et la lampe qu'il entoure. Tout se passera comme si les intensités de même direction étaient toutes issues du foyer central S de la lampe, les dimensions du globe et de la lampe étant négligeables devant la hauteur du foyer et les dimensions de la surface à éclairer.

(1) H. Pécheux. *Loc. cit.*, tableau II de la page 848.

Remarque. — Le globe concentrique à la lampe sera donc formé de trois segments ajustés : l'un, clair, BAK ; un autre, identique de forme A_1LB_1 pourvu d'une couche d'argent intérieure ; le troisième, A_1BAB_1, moulé de façon à présenter des cannelures en forme de prismes rectangles en verre, comme l'indique la figure 2.

2. Tracé du diagramme polaire résultant. — L'examen attentif de la figure 2 permet d'évaluer les intensités lumineuses résultantes, selon les divers angles d'inclinaison, et en tenant compte des pouvoirs réflecteurs de la couche argentée μ et des prismes ϖ.

A titre d'exemple préliminaire, nous pouvons observer que, selon la direction à 30° sous l'horizon, nous aurons : 1° l'intensité directe I_2 ; 2° l'intensité opposée et réfléchie I'_2 ; 3° les deux intensités réfléchies totalement, I_4 et I'_4, lesquelles fourniront une intensité résultante

$$I_2 + I'_2 \times 0{,}80 + (I_4 + I'_4) \times 0{,}90 = I''_2,$$

en adoptant les pouvoirs réflecteurs 0,80 et 0,90 respectivement pour la surface argentée et le verre des prismes à réflexion.

Le tableau I donne les intensités lumineuses directes I_0, I_1, I_2, I'_1, I'_2, etc,, relevées sur le diagramme polaire complet P de la figure 3, et en millimètres.

Tableau I. — *Intensités lumineuses directes dans les diverses directions relevées sur le diagramme polaire complet* P.

INCLINAISONS SUR OU SOUS L'HORIZON	INTENSITÉS SUR L'HORIZON	INTENSITÉS SOUS L'HORIZON
degrés	mm	mm
0	$I_h = 20{,}5$	$I'_h = 20{,}5$
10	$I_0 = 22$	$I'_0 = 19$
15	$I_1 = 22{,}5$	$I'_1 = 18{,}5$
30	$I_2 = 23{,}5$	$I'_2 = 19{,}5$
45	$I_3 = 24{,}5$	$I'_3 = 20{,}5$
60	$I_4 = 25{,}5$	$I'_4 = 21$
75	$I_5 = 26$	$I'_5 = 18$
80	$I_6 = 26{,}5$	$I'_6 = 16{,}5$
90	$I_v = 27{,}5$	$I'_v = 0$

Remarquons qu'il n'est tracé, sur la figure 3, que la moitié du diagramme polaire complet P ; il existe, par raison de symétrie, deux intensités de même inclinaison au-dessous, et deux intensités au-dessus de l'horizon ; par exemple, deux intensités I_2, deux intensités I'_2.

Avec cette remarque, et en suivant attentivement la figure 2, nous avons calculé les intensités résultantes, en tenant compte des pouvoirs réflecteurs. Le tableau II reproduit les grandeurs obtenues.

Tableau II. — *Intensités lumineuses résultantes dans les diverses directions, pour* $a = 3$.

INCLINAISONS	INTENSITÉS DIRECTES	INTENSITÉS RÉFLÉCHIES ×0,8		INTENSITÉS RÉFLÉCHIES TOTALEMENT × 0.9				INTENSITÉS RÉSULTANTES
degrés	mm		mm		mm		mm	mm
10 (limite)	$I_0 = 22$	I'_0	15,20	I_6	23,85	I'_6	14,85	$I''_0 = 75{,}90$
15	$I_1 = 22{,}50$	I'_1	14,80	I_5	23,40	I'_5	16,20	$I''_1 = 76{,}90$
30	$I_2 = 23{,}50$	I'_2	15,60	I_4	22,95	I'_4	18,90	$I''_2 = 80{,}95$
45	$I_3 = 24{,}50$	I'_3	16,40	I_3	22,05	I'_3	18,45	$I''_3 = 81{,}40$
60	$I_4 = 25{,}50$	I'_4	16,80	I_2	21,15	I'_2	17,55	$I''_4 = 81{,}00$
75	$I_5 = 26$	I'_5	14,40	I_1	20,25	I'_1	16,65	$I''_5 = 77{,}30$
80	$I_6 = 26{,}50$	I'_6	13,20	I_0	19,80	I'_0	17,10	$I''_6 = 76{,}60$
90 (limite)	$I_v = 27{,}50$	I'_v	0,00	I_h	18,45	I'_h	18,45	$I''_v = 64{,}40$

Le diagramme polaire résultant p a été construit avec les intensités résultantes I''_0, I''_1, I''_v.

Les *ouvertures* des zones incomplètes détachées, dans la même sphère de rayon $r = 59$ mm que pour la figure 1, par les cônes élémentaires, ne dépendant que de l'inclinaison des rayons lumineux et non de leur intensité, demeurent les mêmes que dans le cas de la lampe nue. Voici, avec les intensités résultantes, les angles d'ouverture des zones et les intensités réduites correspondantes : $i = \alpha I''$.

Inclinaisons sous l'horizon, en degrés..	10	15	30	45	60	75	80	90
α, en degrés	0	104	148	162	170	176	178	180
α, en radians	0	1,815	2,583	2,827	2,967	3,071	3,106	3,1416
I'', en millimètres	75,90	76,90	80,95	81,40	81	77,30	76,60	64,40
$i = \alpha I''$, en millimètres	0	140,17	209,09	230,12	240,33	237,39	237,92	202,32

3. Tracé du diagramme de Rousseau. — Nous avons, avec les valeurs calculées pour i, construit le diagramme de Rousseau R (fig. 3) ; les hauteurs des trapèzes sont les mêmes que sur la figure 1 (projections des arcs inclinés de 15° en 15°, dans la même circonférence) ; nous avons

$$T = (t_1 + t_2 + \ldots + t_7) = 9\,701{,}83 \text{ mm}^2.$$

Remarque. — Nous avons construit le diagramme à une échelle réduite ; mais nous avons inscrit les

valeurs réelles des bases; le calcul de T est donc direct.

4. Calcul de I_c. — Reprenant la formule (4) établie précédemment, où les grandeurs $\frac{h}{r}$, S, r demeurent les mêmes (cas de figure, $a = 3$), nous aurons

$$I_c = \frac{T}{r\left(\pi - \frac{2h}{r} S\right)} = \frac{9\,701{,}83}{59 \times 2{,}4064} = 68{,}33 \text{ mm};$$

à l'échelle de 22 bd pour 1 mm, il viendra

$$I_c = 22 \times 68{,}33 = 1\,503{,}26 \text{ bd};$$

elle est bien supérieure, comme il fallait s'y attendre, à celle qui a été obtenue en n'utilisant qu'une partie des radiations de la lampe. Mais cette intensité est trop élevée pour les besoins de l'éclairement de la place circulaire qui fait l'objet du problème traité antérieurement et dans lequel chacun des quatre foyers espacés à 90° (1) a été trouvé égal à 440,60 bd.

Dès lors, pour ramener la valeur nécessaire I_c de 1 503,26 à 440,6 bd, il faudra réduire dans le même rapport les caractéristiques de la lampe à employer. Le résultat que nous venons de trouver correspond à une lampe d'intensité horizontale égale à

$$451 \times \frac{440{,}6}{1\,503{,}26} = 132{,}2 \text{ bd}$$

et d'une intensité moyenne hémisphérique, la lampe étant nue, égale à 451 bd; pour obtenir $I_c = 440{,}6$ bd, la lampe utilisée devra fournir une intensité horizontale égale à

$$523 \times \frac{440{,}6}{1\,503{,}26} = 153{,}29 \text{ bd}.$$

Le multiplicateur de réduction est $\frac{440{,}6}{1\,503{,}26} = 0{,}293$; l'on voit ainsi combien la dépense d'entretien de foyers de telle intensité serait réduite. Il en résulterait une économie d'énergie pour chacun des foyers ainsi utilisés, aisée à calculer.

5. Economie d'énergie. — Une lampe nue de 451 bd consomme une puissance, à raison de 0,5 w par bougie, égale à 225,5 watts; une lampe de 132,2 bd, à raison de 0,75 w par bougie, consomme

$$0{,}75 \times 132{,}2 = 99{,}15 \text{ w};$$

d'où, par foyer, une économie s'élevant à 126,35 watts; soit à un facteur d'économie de

$$\frac{126{,}35}{225{,}50} = 0{,}56;$$

(1) H. Pécheux. *Loc. cit.*, p. 849.

cette économie compense facilement la dépense supplémentaire occasionnée par l'équipement de chaque lampe.

III. **Généralisation de la méthode.** — Nous venons de voir comment on applique à un cas particulier d'éclairage d'une surface circulaire $\left(\frac{R}{h} = 3\right)$ une formule générale (4) avec l'aide d'une construction graphique. Avec d'autres valeurs de $a = \frac{R}{h}$, on obtiendrait des valeurs différentes de r et une courbe d'intersection Z'Z de même forme toujours, mais d'amplitude différente; donc, aux mêmes inclinaisons, des intensités

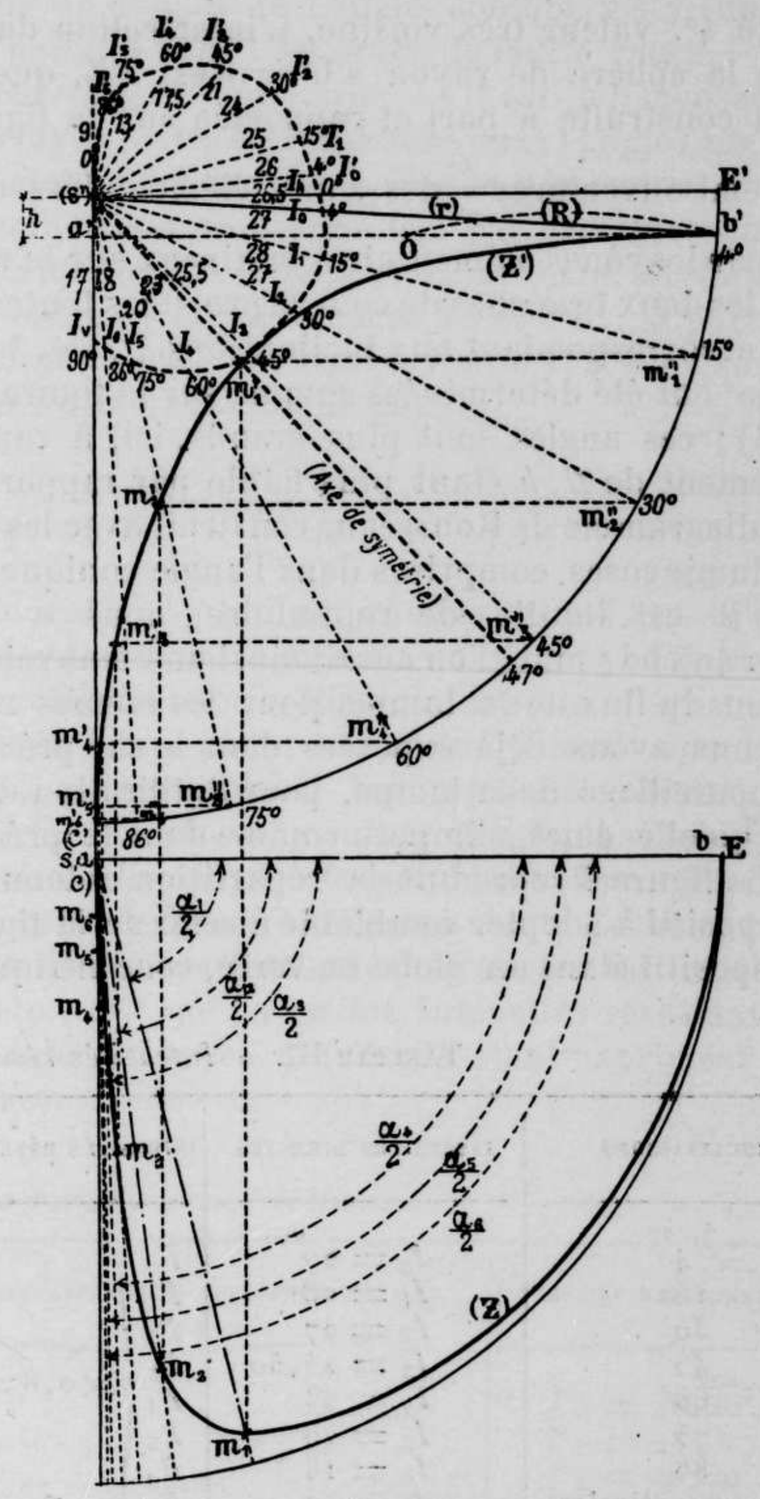


Fig. 4. — Construction permettant de déterminer les angles $\frac{\alpha}{2}$ avec la courbe d'intersection du cône et de la sphère, dans le cas où $a = 7{,}5$.

lumineuses sous l'horizon, de 15° en 15°, des angles d'ouverture des zones élémentaires traversées par le flux lumineux, variables.

La méthode que nous venons d'appliquer au cas $a = 3$, s'applique sans aucune difficulté à tout autre

cas, et il suffit de suivre la série des calculs qui précèdent pour arriver au résultat sans hésitation.

Nous allons prendre un deuxième exemple d'application, qui se rapporte à l'étude faite antérieurement dans cette revue parce qu'il comporte un cas différent, avec lampes périphériques et avec lampe au centre de la surface à éclairer, c'est le cas où $a = 7{,}5$ c'est-à-dire celui d'une grande place circulaire.

1. Lampes périphériques. — La figure 4 montre le diagramme polaire complet du type de lampe nue qui convient à ce cas, 1 000 bougies et au delà; le cône lumineux s'a'b' donne pour l'angle de s'b' avec l'horizon $\text{tg}\, E's'b' = \frac{h}{2R} = \frac{1}{15}$; d'où $E's'b' = 3°50'$; nous avons adopté 4°, valeur très voisine. L'intersection du cône et de la sphère de rayon $s'b' = r$ est Z'Z, que nous avons construite à part et rapportée sur la figure 4. Les demi-ouvertures $\frac{\alpha}{2}$ des zones élémentaires découpées par les cônes élémentaires lumineux sur la sphère entre les deux branches de courbe projetées toutes deux en Z', et correspondant aux inclinaisons 4°, 15°, 30°, ... 86°, 90° ont été déterminées comme sur la figure 1 (cas $a = 3$); ces angles sont plus grands, ici, à cause du relèvement de Z', h étant plus faible par rapport à R.

Le diagramme de Rousseau, construit avec les intensités lumineuses comprises dans l'angle conique b's'c' et qu'il est inutile de reproduire, nous a donné $I_c = 1\,495$ bd; mais l'on aurait ainsi une mauvaise utilisation du flux de la lampe, pour les mêmes raisons que nous avons déjà exposées dans le cas précédent. Un appareillage de la lampe, pour l'utilisation du flux total qu'elle émet, s'impose comme dans le précédent cas. La figure 5 reproduit la répartition obtenue avec le dispositif à adopter semblable à celle de la figure 2, ce dispositif étant un globe en verre, concentrique à la lampe, sur le dessin duquel nous avons rapporté à l'échelle convenable la courbe Z' et sa symétrique par rapport au centre S. Le rayon du globe est égal à l'intensité lumineuse la plus grande, laquelle est ici à 15°, avec la forme spéciale de filament des lampes au tungstène en atmosphère gazeuse de 1000 bd et plus, la surface interne du globe, dans l'angle A_1SB_1 et jusqu'à la courbe Z'_1 sera argentée, surface réfléchissante. Dans l'angle opposé ASB, elle sera claire (les rayons seront directs) entre les courbes Z' et Z'_1, elle

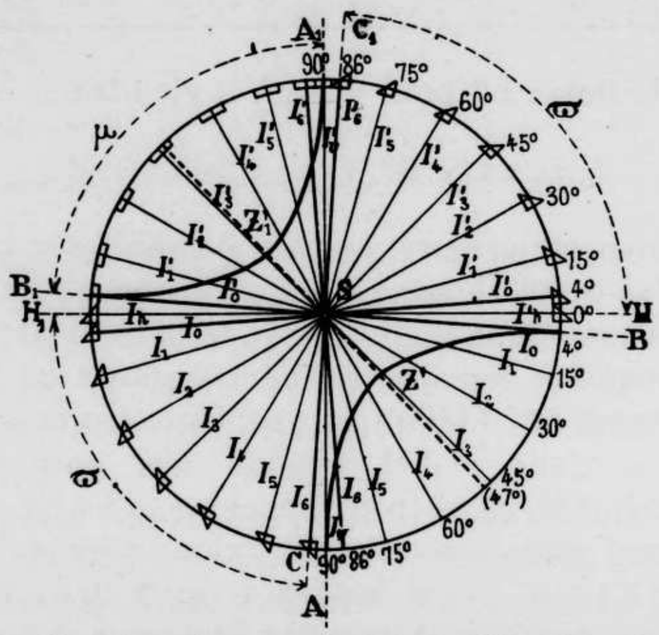


Fig. 5. — Construction montrant l'utilisation des rayons lumineux directs dans BSA, réfléchis dans A_1SB_1 et réfléchis totalement entre Z' et Z'_1, avec un globe à miroir en μ et prismes réflecteurs en ϖ; cas des lampes sur la périphérie.

sera pourvue de prismes de verre rectangles isocèles, à réflexion totale.

Il est superflu de tracer, une deuxième fois ici, la marche des rayons réfléchis; le lecteur se rapportera à la figure 2 pour s'en rendre compte. Le tableau III reproduit, selon les inclinaisons des rayons lumineux, les intensités, directes et réfléchies qui s'ajoutent pour fournir les intensités résultantes, en millimètres.

Tableau III. — *Intensités résultantes dans diverses directions pour* $a = 7{,}5$.

INCLINAISONS	INTENSITÉS DIRECTES	INTENSITÉS RÉFLÉCHIES ×0,8		INTENSITÉS RÉFLÉCHIES TOTALEMENT ×0,9		INTENSITÉS RÉSULTANTES
degrés	mm		mm		mm	mm
4	$I_0 = 27$	I'_0	20,80	I_6 — I'_6	16,20 — 8,10	$I''_0 = 72{,}10$
15	$I_1 = 28$	I'_1	20	I_5 — I'_5	18 — 11,70	$I''_1 = 77{,}70$
30	$I_2 = 27$	I'_2	19,20	I_4 — I'_4	20,70 — 15,75	$I''_2 = 82{,}65$
45	$I_3 = 25{,}50$	I'_3	16,80	I_3 — I'_3	22,95 — 18,90	$I''_3 = 84{,}15$
60	$I_4 = 23$	I'_4	14	I_2 — I'_2	24,30 — 21,60	$I''_4 = 82{,}90$
75	$I_5 = 20$	I'_5	10,40	I_1 — I'_1	25,20 — 22,50	$I''_5 = 78{,}10$
86	$I_6 = 18$	I'_6	7,20	I_0 — I'_0	24,30 — 23,40	$I''_6 = 72{,}90$
90 (limite)	$I_v = 17$	I'_v	0,00	I_h	23,85 — I'_h 23,85	$I''_v = 64{,}70$

Avec les angles $\frac{\alpha}{2}$ mesurés sur l'épure de la figure 4, et les intensités résultantes I'' du tableau III, nous avons calculé les intensités réduites $i = \alpha I''$; voici les résultats ainsi obtenus :

Inclinaisons (sous l'horizon, en degrés.	4	15	30	45	60	75	86	90
α, en degrés	0	150	166	171	174	177 1/2	179	180
α, en radians	0	2,618	2,897	2,984	3,036	3,094	3,124	3,1416
I'', en millimètres	72,10	77,70	82,65	84,15	82,90	78,10	72,90	64,70
$i = \alpha I''$, en millimètres	0	203,42	239,44	251,10	251,68	241,64	227,74	203,26

Le diagramme de Rousseau, construit comme dans la figure 3, avec les intensités i, fournit une aire $T = 14\,204{,}21$ mm²; la formule (4) nous donne alors

$$I_c = \frac{T}{r\left(\pi - \frac{2h}{r} S\right)};$$

nous avons ici $r = 72{,}5$ mm (fig. 4); pour $a = 7{,}5$, notre tableau (1) donne

$$\frac{h}{r} = 0{,}0668; \qquad S = 2{,}45056;$$

d'où

$$\frac{2h}{r} S = 0{,}3274; \quad \pi - \frac{2h}{r} S = 2{,}8142;$$

et enfin

$$I_c = \frac{14\,204{,}21}{72{,}5 \times 2{,}8142} = 69{,}62 \text{ mm};$$

l'échelle adoptée ici est 66 bd pour 1 mm, d'où

$$I_c = 69{,}62 \times 66 = 4\,600 \text{ bd};$$

avec une lampe d'intensité horizontale

$$26{,}5 \times 66 = 1\,749 \text{ bd}.$$

Le problème traité pour ce cas d'éclairement nous a conduit à 1 500 bd pour l'intensité moyenne conique; il faudra donc choisir, pour chacun des douze foyers périphériques un type de lampe à ampoule claire ayant pour intensité lumineuse horizontale

$$I_h = \frac{1\,749 \times 1\,500}{4\,600} = 570 \text{ bd}$$

et une intensité moyenne hémisphérique inférieure de 554 bd.

Remarque. — Le facteur d'économie d'énergie, calculée comme précédemment, est ici, pour chaque foyer, (les lampes de 570 bd consommant 0,5 w par bougie décimale, comme celles de 1 749 bd) égal à

$$\frac{1\,749 - 570}{1\,749} = 0{,}67,$$

compensant largement les frais d'appareillage de ces lampes.

2. Lampe au centre. — La lampe nue placée au centre O de l'espace circulaire, à la même hauteur h, en mètres, et de puissance lumineuse double, donnerait également une mauvaise utilisation du flux, puisque toutes les radiations en dehors de l'angle conique x s″y (fig. 6) seraient perdues pour l'éclairage de ladite place.

1° *Appareillage de la lampe.* — Il est indispensable, pour renvoyer toutes les radiations dans l'angle utile, de munir le globe de verre concentrique à la lampe, d'une surface réfléchissante n argentée, par exemple, sur la zone sphérique a′ K b′, et de prismes en verre, à réflexion totale ϖ, entre les circonférences a b et a′ b′; la portion a C b restant claire; ici, l'angle limite H s″b de sortie des rayons directs est donné par

$$\text{tg H s″ b} = \frac{h}{R} = \frac{1}{a} = \frac{1}{7{,}5};$$

on trouve H s″ b = 7°4σ′; nous avons adopté 8°.

La figure 6 montre la direction des rayons lumineux directs et indirects ou réfléchis, avec le diagramme polaire de la lampe nue; en suivant attentivement la figure, on pourra obtenir les intensités résultantes dans l'angle conique x s″ y, utile, en adoptant toujours les pouvoirs réflecteurs, 0,80 pour la surface argentée, et 0,90 pour les prismes à réflexion totale. Le tableau IV reproduit toutes ces intensités, selon les inclinaisons 8°, 15°, etc., 86°, 90°; avec les intensités résultantes, dans l'angle a s″b, ces grandeurs étant exprimées en millimètres.

Tableau IV. — *Intensités lumineuses résultantes dans diverses directions.*

INCLINAISONS	INTENSITÉS DIRECTES	INTENSITÉS RÉFLÉCHIES - 0,8		INTENSITÉS RÉFLÉCHIES TOTALEMENT × 0,9		INTENSITÉS RÉSULTANTES
degrés	mm		mm	mm	mm	mm
8	$I_0 = 27{,}50$	I'_0	20,80			$I''_0 = 48{,}30$
15	$I_1 = 28$	I'_1	20			$I''_1 = 48$
30	$I_2 = 27$	I'_2	19,20			$I''_2 = 46{,}20$
45	$I_3 = 25{,}50$	I'_3	16,80			$I''_3 = 42{,}30$.
60	$I_4 = 23$	I'_4	14			$I''_4 = 37$
75	$I_5 = 20$	I'_5	10,40			$I''_5 = 30{,}40$
86	$I_\beta = 17{,}50$	I'_β	4,80	I_α = 24,30	I'_α = 23,62	$I''_\beta = 70{,}22$
90	$I_v = 17$	I'_v	0	I_h = 23,85	I'_h = 23,85	$I''_v = 64{,}70$

(× 0,8 =) (× 0,9 =)

La figure 7 montre la moitié du diagramme polaire P des intensités résultantes; l'accroissement brusque de l'intensité, de 82° à 90°, est dû à l'influence des prismes à réflexion totale dans la zone de 8° au-dessus et au-dessous de l'horizon de la lampe.

2° *Calcul de* I'_c. — Considérons (fig. 7) le rayon lumineux I''_2; le flux élémentaire qu'il fournit dans

(1) H. Pécheux. *Loc. cit.*, p. 848.

l'angle conique déterminé par ce rayon et le rayon infiniment voisin est

$$dF = I''_2 d\omega = I''_2 \frac{d\tau}{r'^2};$$

r' étant le rayon s" b de la sphère coupée par le cône;

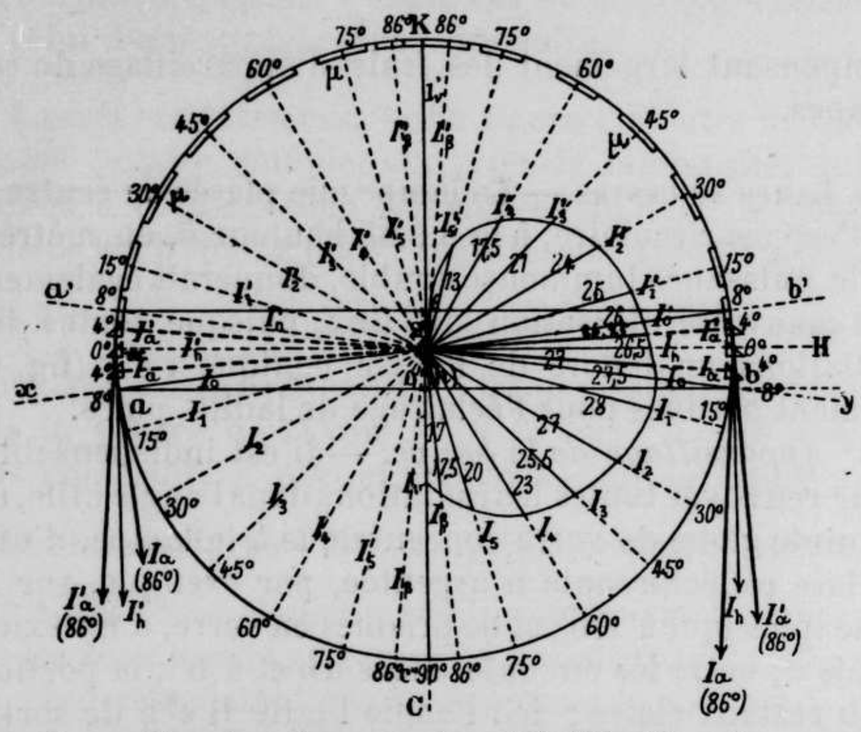


Fig. 6 — Construction montrant l'utilisation des rayons lumineux directs dans Cxs"y, réfléchis dans a'Kb' et réfléchis totalement entre ab et a' b', la lampe étant au centre.

mais $d\sigma$ est la zone sphérique complète, (ici le cône coupe la sphère selon une circonférence ab) et

$$d\sigma = 2\pi r' d\varepsilon;$$

d'où

$$dF = \frac{I''_2}{r'^2} \times 2\pi r' d\varepsilon = \frac{2\pi}{r'} I''_2 d\varepsilon;$$

le flux total sur la zone sphérique bCa (fig. 6), donc sur la surface circulaire ab qui nous intéresse, sera

$$F = \frac{2\pi}{r'} \int I''_2 d\varepsilon;$$

or, $I''_2 d\varepsilon$ est représenté sur le diagramme de Rousseau, de la figure 7, par la petite surface hachurée; on aura donc

$$\int I''_2 d\varepsilon = T = \text{aire } b_1 M c_1;$$

par suite

$$F = \frac{2\pi}{r'} \times T. \qquad (5)$$

Mais nous avons trouvé antérieurement pour ce même flux (1)

$$F = 2\pi I'_c \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R^2}{h^2}}}\right) = 2\pi I'_c \times 0{,}867;$$

(1) H. Pécheux. *Loc. cit*, p. 850.

en identifiant il viendra

$$2\pi I'_c \times 0{,}867 = \frac{2\pi}{r'} \times T;$$

et enfin

$$I'_c = \frac{T}{r' \times 0{,}867}. \qquad (6)$$

Nous trouvons, avec le diagramme de Rousseau (fig. 7)

$$T = (t_1 + t_2 + \ldots + t_7) = 2\,751{,}531 \text{ mm}^2;$$

nous avons $r' = 73{,}5$ mm, d'où

$$I'_c = \frac{2\,751{,}531}{73{,}5 \times 0{,}867} = 43{,}18 \text{ mm}.$$

Sur la figure 6, le diagramme polaire de la lampe nue est construit à l'échelle de 1 mm pour 66 bd; son intensité horizontale est

$$I_h = 26{,}5 \times 66 = 1\,749 \text{ bd};$$

nous aurons donc

$$I'_c = 43{,}18 \times 66 = 2\,849{,}88.$$

Mais nous avons adopté, au préalable, pour la lampe

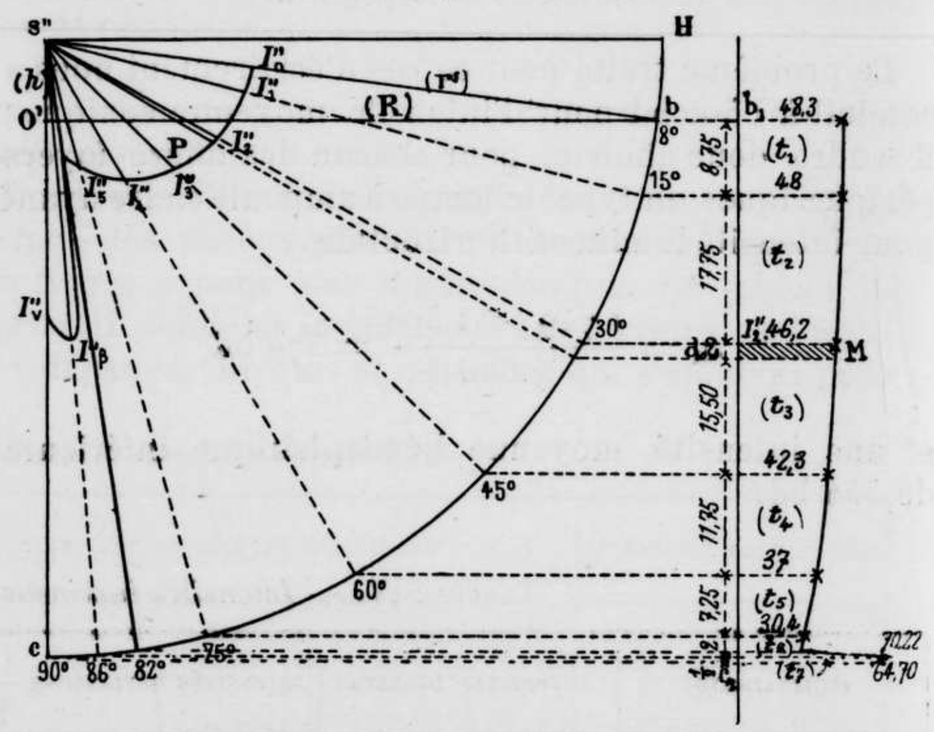


Fig 7. — Diagrammes : polaire P des intensités résultantes et de Rousseau R, pour la détermination de I'_c (cas d'une lampe au centre).

au centre, une intensité double de celle des lampes à la périphérie, soit 3 000 bd; il faudra donc choisir un type de lampe présentant une intensité horizontale de

$$\frac{1\,749 \times 3\,000}{2\,849{,}88} = 1\,841 \text{ bd},$$

avec une intensité hémisphérique inférieure égale à 1765 bd.

Remarque. — Une lampe nue, pour fournir une intensité moyenne conique de 3 000 bd, donnerait une intensité horizontale égale à 3 104 bd, d'après un calcul effectué comme dans le cas de la figure 1 ; ces lampes dépensant 0,5 watt par bougie, le facteur de l'économie réalisée ici est de

$$\frac{3\,104 - 1\,841}{3\,104} = 0{,}407.$$

L'on voit que, dans tous les cas, le dispositif de lampe appareillé comme nous venons de l'indiquer comporte une économie appréciable dans la dépense d'énergie électrique.

H. Pécheux,
Docteur ès sciences, lauréat de l'Institut
professeur à l'Ecole supérieure des Sciences de Rouen.

Revues, analyses et informations

La chute de tension dans les transformateurs à trois enroulements (1).

1. Introduction. — Plusieurs auteurs ont étudié la question de la chute de tension dans les transformateurs comportant trois enroulements concentriques disposés sur le même noyau et certains d'entre eux, parmi lesquels l'auteur du présent article, ont établi des formules permettant de déterminer cette chute de tension. Ce sont trois de ces formules qui sont examinées dans cet article et comparées entre elles.

2. Formule de l'auteur. — Elle a été indiquée dans un travail précédent publié dans la même revue (2) et devient en faisant quelques simplifications

$$100\,\frac{\Delta V'_2}{V_2} = 100\,\frac{I_1}{V'_2}(R_1\cos\varphi_1 + X_1\sin\varphi_1) + 100\,\frac{I'_2}{V'_2}(R'_2\cos\varphi_2 + X'_2\sin\varphi_2) - 100\,\frac{hI'_3X'_3}{V'_2}\sin\varphi_3 + \frac{50}{(V'_2)^2}[I_1(X_1\cos\varphi_1 - R_1\sin\varphi_1) + I'_2(X'_2\cos\varphi_2 - R'_2\sin\varphi_2) - hI'_3X'_3\cos\varphi_3]^2. \quad (1)$$

Dans cette formule V'_2 est la tension secondaire rapportée à la tension primaire ; I_1, I_2, I_3 sont les courants dans chacun des trois enroulements et φ_1, φ_2, φ_3, leurs déphasages respectifs. R_1 et X_1 sont la résistance et la réactance du circuit primaire, R'_2 et X'_2, celles du circuit secondaire rapportées au circuit primaire et X'_3, la réactance du circuit tertiaire également rapportée au circuit primaire.

La chute de tension sur le circuit tertiaire est donnée par une formule analogue à la précédente et dans laquelle les indices 2 et 3 sont inversés.

Dans ces expressions, la résistance et la réactance R_1 et X_1 sont données par

$$R_1 = \frac{(R_1 + R'_2) + (R_1 + R'_3)}{4} \quad (2)$$

et

$$X_1 = \frac{(X_{1s} + X'_2) + (X_{1t} + X'_3)}{4}, \quad (3)$$

X_{1s} et X_{1t} représentant la réactance de l'enroulement primaire quand le secondaire ou le tertiaire n'interviennent pas (essai en court-circuit).

(1) C. della Salda. *L'Elettrotecnica*, 25 décembre 1929, t. XVI, p. 832-835, 1 tableau, 1500 mots.

(2) C. della Salda. *L'Elettrotecnica*, 15 juin et 25 novembre 1925, t. XII, p. 405-408 et 821-822, résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 26 septembre 1925, t. XVIII, p. 99 D et 1er mai 1926, t. XIX, p 163 D.

3. Formule américaine. — L'auteur désigne ainsi celle qui a été établie par M. A. Incontri, dans un article publié dans "L'Elettrotecnica" (1). En simplifiant, comme on l'a fait pour celles du paragraphe 2, la chute de tension dans l'enroulement secondaire a ici pour expression

$$100\,\frac{\Delta V_2}{V_2} = \frac{100}{V_2}\left[I_2[(R''_1 + R_2) + j(X''_1 + X_2)](\cos\varphi_2 - j\sin\varphi_2) + (R''_1 + jX''_p)(\cos\varphi_3 - j\sin\varphi_3)\,I_2\,\frac{P_3}{P_2}\right]. \quad (4)$$

P_2 et P_3 étant les puissances exprimées en kilovolts-ampères sur l'enroulement secondaire et l'enroulement tertiaire ; R''_1 est la résistance primaire effective par phase ; $(R''_1 + R_2)$ et $(X''_1 + X_2)$, la résistance et la réactance complètes, ramenées au circuit secondaire dans l'épreuve de court-circuit n'intéressant que les circuits primaire et secondaire. Enfin la quantité X''_p représente l'expression complexe.

$$X''_p = \frac{(X_{1s} + X'_2) + (X_{1t} + X'_3) - (X'_{2t} + X'_{3s})}{2}\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2, \quad (5)$$

$\frac{N_2}{N_1}$ étant le rapport de transformation entre enroulements primaire et secondaire et les indices s et t ayant la signification exposée à la fin du paragraphe 2.

En multipliant dans l'équation (4) le courant par $\frac{N_2}{N_1}$, la résistance et la réactance par $\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$ et la tension par $\frac{N_1}{N_2}$, l'auteur obtient, en passant ensuite des expressions symboliques aux expressions scalaires, la formule transformée suivante

$$100\,\frac{\Delta V'_2}{V'_2} = 100\,\frac{I'_2}{V'_2}[(R_1 + R'_2)\cos\varphi_2 + (X_{1s} + X'_2)\sin\varphi_2] + 100\,\frac{I'_3}{V'_2}(R_1\cos\varphi_3 + X_p\sin\varphi_3) + \frac{50}{(V'_2)^2}[I'_2[(X_{1s} + X'_2)\cos\varphi_2 - (R_1 + R'_2)\sin\varphi_2] + I'_3(X_p\cos\varphi_3 - R_1\sin\varphi_3)]^2. \quad (6)$$

(1) A. Incontri ; Transformateurs à trois enroulements *L'Elettrotecnica*, 15 avril 1925, t. XII, p. 270-275, résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 26 décembre 1925, t. XVIII, p. 216 D.

En comparant cette expression à l'expression (1), on constate que les termes comprenant le coefficient h de celle-ci correspondent aux termes en I'_3 de l'équation (6), que les termes en R'_2, X'_2 existent dans l'une et l'autre et que les termes en R_1 et X_1 ont seulement des parties communes qui correspondent d'ailleurs à I_1 et φ_1 dans la première équation et à I'_2 et φ_2 dans la seconde.

On peut noter, en dernier lieu, que les deux formules (1) et (6) peuvent être, en pratique, très simplifiées en négligeant la troisième forme du second membre.

4. Formule de G. Guastalla. — En appliquant la même méthode de transformation aux équations symboliques de calcul de cet auteur (1), on obtient la formule suivante pour l'expression de la chute de tension dans l'enroulement secondaire

$$100\frac{\Delta V'_2}{V'_2} = 100\frac{I'_2}{V'_2}[(R_1+R'_2)\cos\varphi_2+(X_{12}+X'_{21})\sin\varphi_2]$$
$$+100\frac{I'_3}{V'_2}[R_1\cos\varphi_3+(X_{13}+X'_{21}-X'_{23})\sin\varphi_3]$$
$$+\frac{50}{(V'_2)^2}[I'_2[(X_{12}+X'_{21})\cos\varphi_2-(R_1+R'_2)\sin\varphi_2]$$
$$+I'_3[(X_{13}+X'_{21}-X'_{23})\cos\varphi_3-R_1\sin\varphi_3]]^2. \quad (7)$$

Une formule analogue peut être établie pour la chute de tension dans le circuit tertiaire.

Les termes X_{12}, X_{13}, représentent ici les réactances d'induction primaires correspondant respectivement au flux primaire dispersé dans le secondaire et dans le tertiaire ; X'_{21} et X'_{31}, les réactances d'induction secondaire et tertiaire (ramenées au primaire) correspondant au flux dispersé par le secondaire et le tertiaire dans le primaire ; enfin X'_{23} et X'_{32} les réactances correspondantes concernant le flux dispersé par le secondaire dans le tertiaire et inversement.

En comparant avec l'équation (6), on voit que les grandeurs

$$X_{12},\ X_{13},\ X'_{21},\ X'_{31},\ X'_{23},\ X'_{32}$$

de l'une correspondent à

$$X_{1s},\ X_{1t},\ X'_{2p},\ X'_{3p},\ X'_{2t},\ X'_{s3}$$

de l'autre, tandis que l'expression

$$X_{13}+X'_{21}-X'_{23}$$

remplace X_p défini en (5).

5. Comparaison des trois formules. — L'auteur a effectué la comparaison des trois méthodes dans les sept cas différents suivants :

1° Transformateur à enroulement primaire externe ; enroulement secondaire intermédiaire, enroulement tertiaire interne, établis respectivement pour 70 000, 39 000 et 6 180 v par phase à vide, montage en étoile des trois enroulements ;

2° Transformateur à enroulement tertiaire externe, enroulement primaire intermédiaire et enroulement secondaire interne, établis respectivement pour des tensions dans les rapports 108 250/5 000/20 000 v ; déphasages primaire secondaire et tertiaire, 0,7 ;

3° Variante du cas précédent avec $\cos\varphi_3 = 0$;

4° Variante du cas 2° avec $\cos\varphi_2 = 0$;

5° Variante du cas 2° avec $I_3 = 0$;

6° Transformateur du cas 2°, mais considéré comme avec enroulement primaire externe, secondaire intermédiaire et enroulement tertiaire interne ;

7° Variante du cas précédent avec $\cos\varphi_3 = 0$.

Les résultats de la comparaison dans ces divers cas sont résumés dans le tableau I.

Tableau I. — *Comparaison des chutes de tension déterminées au moyen des trois formules envisagées.*

CAS	PRIMAIRE		CHUTE DE TENSION(1) en centièmes 1	2	3
1	Externe	secondaire.	1,58	0,35	0,38
		tertiaire...	—2,68	—1,80	—1,98
2	Intermédiaire .	secondaire.	2,53	2,56	—
		tertiaire...	3,68	3,76	—
3	Intermédiaire..	secondaire.	3,08	2,415	—
		tertiaire...	—2,66	—2,55	—
4	Intermédiaire..	secondaire.	—2,33	—2,62	—
		tertiaire ..	2,83	3,6	—
5	Intermédiaire..	secondaire.	2,66	2,4	—
		tertiaire .	0,57	0,16	—
6	Externe	secondaire.	6,67	8,56	—
		tertiaire...	9,10	11,06	—
7	Externe.....	secondaire.	0,2	—1,2	—
		tertiaire ..	—3,5	—1,8	—

(1) Les données de la colonne 1 correspondent à la formule (1) ; celles de la colonne 2, à la formule (4) et celles de la colonne 3, à la formule (7).

Il résulte de cette comparaison que la chute de tension calculée par la formule de l'auteur, qui ne nécessite que deux essais en court-circuit, est suffisamment en concordance avec celle qui est déterminée suivant les deux autres formules, lesquelles exigent trois essais en court-circuit, lorsque le transformateur est du type à enroulement primaire intermédiaire.

Dans le cas où l'enroulement primaire est à l'extérieur, la concordance est toutefois beaucoup moins satisfaisante et il est difficile, dans ce cas, de substituer l'une des méthodes aux autres. — B. E.

(1) G. Guastalla. *L'Energia elettrica*, mars et août 1925.

Une preuve d'application aux lignes de transmission du diagramme du cercle des moteurs d'induction (1).

1. Introduction. — Les équations d'un circuit général en fonction des constantes de ce circuit sont généralement données sous la forme ci-dessous (2)

$$E_s = AE_r + BI_r, \quad I_s = CE_r + DI_r, \qquad (1) \text{ et } (2)$$

E_s et I_s étant la tension et l'intensité du courant au départ ; E_r et I_r, la tension et l'intensité du courant à l'arrivée. En

(1) F. Creedy. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, mai 1930, t. xlix, p. 381-385, 1 000 mots, 5 figures.

(2) Voir, par exemple : V. Genkin ; La méthode dite des constantes généralisées et son application à l'étude des lignes de transmission. *Revue générale de l'Electricité*, 6 septembre 1930, t. xxviii, p. 349-355

posant $AD - BC = 1$, ce qui est légitime comme il sera montré plus loin, elles se réduisent aux deux relations suivantes

$$E_r = DE_s - BI_s, \quad (3)$$

$$I_r = -CE_s + AI_s. \quad (4)$$

Quelle que soit la complexité du circuit auquel s'appliquent les relations (1) et (2), on peut le représenter par un circuit équivalent ne contenant pas plus que quatre paramètres indépendants en fonction desquels les valeurs de A, B, C, D seront déterminées. Mais comme d'après les relations (3) et (4), des quatre constantes A, B, C, D trois seulement sont indépendantes, on peut écrire les équations (1) et (2) sous les formes suivantes : (fig. 1)

$$E_0 = \frac{E_s}{A} = E_r + I_r \frac{B}{A} = E_r + I_r Z, \quad (5)$$

$$I_0 = AI_s = E_r AC + I_r AD = YE_r + (1 + YZ) I_r ; \quad (6)$$

ces équations expriment qu'il y a transformation de tension avec déphasage, $\frac{1}{A}$ étant le rapport de transformation et A,

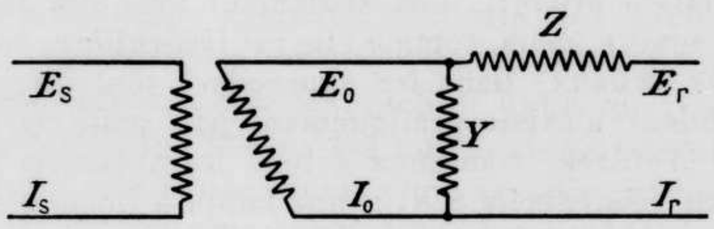


Fig. 1. — Schéma du circuit.

un nombre complexe, Y et Z étant les impédances du circuit secondaire, et montrent que les vecteurs AB, BC et AC (fig. 2) forment un triangle et ont les valeurs respectives

$$AB = E_0, \quad BC = E_r, \quad AC = BD = I_r \frac{B}{A}.$$

2. Diagramme circulaire. — Supposons maintenant que l'extrémité réceptrice débite à facteur de puissance constant, la différence de phase constante entre E_r et I_r étant θ.

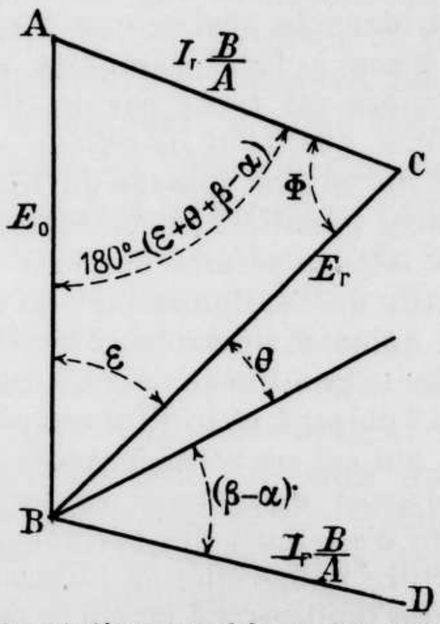


Fig. 2. — Représentation graphique des équations (5) et (6).

Le vecteur BD étant déterminé en grandeur et en phase par son expression $I_r \frac{B}{A}$, l'angle $\beta - \alpha$ est constant si θ est constant. Or, d'après le triangle ABC

$$\pi - (\varepsilon + \theta + \beta - \alpha) + \varepsilon + \Phi = \pi,$$

d'où

$$\Phi - (\theta + (\beta - \alpha)) = 0$$

et

$$\Phi = \theta + (\beta - \alpha) = \text{constante}.$$

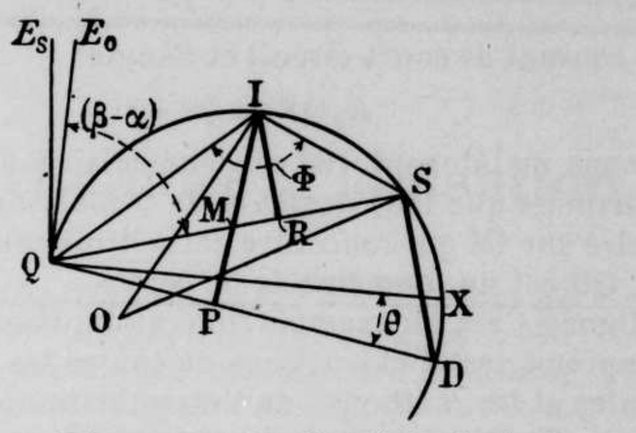


Fig 3. — Diagramme du circuit équivalent.

Il en résulte que le point C se meut sur un cercle dont AB serait une corde fixe. D'autre part, pour que $\Phi = \frac{\pi}{2}$, on devra avoir

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \beta + \alpha.$$

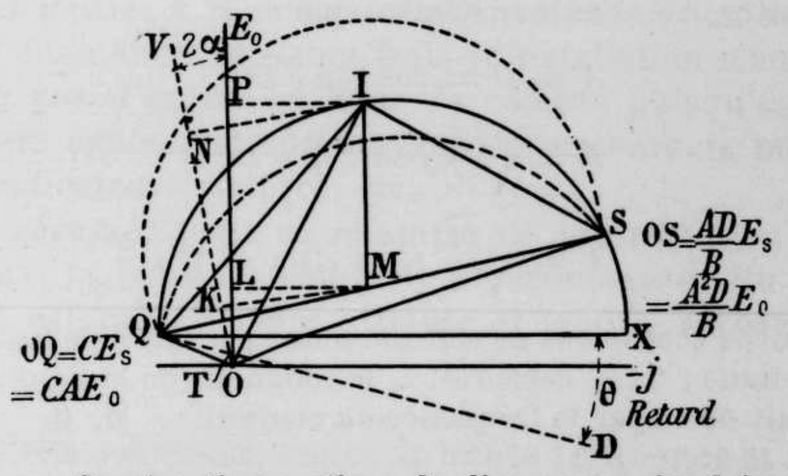


Fig. 4. — Construction pratique du diagramme circulaire. Tous les vecteurs sont dessinés correctement déphasés par rapport à E_0 à moins qu'il en soit spécifié autrement : IO, puissance apparente au départ (échelle D); IM, puissance apparente à l'arrivée (échelle D); NO, puissance active au départ (échelle D) ; PL, puissance active à l'arrivée (échelle D); $\frac{PL}{NO}$, rendement de la ligne (échelle D); OI, courant à l'arrivée (échelle A); IS, tension à l'arrivée (déphasage incorrect) (échelle B); $\frac{IS}{QS}$, $\frac{\text{tension à l'arrivée}}{\text{tension au départ}}$; IO, courant au départ (échelle C); TK, puissance perdue en charge (échelle D); TO, puissance perdue à vide (échelle D); OQ, courant à vide au départ (échelle C); OS, courant de court-circuit au départ (échelle C); QS, courant de court-circuit à l'arrivée (échelle A) (1).

En divisant les grandeurs de la figure 2 par $\frac{B}{A}$, cela revient à faire tourner le diagramme d'un angle $(\beta - \alpha)$ et à changer d'échelle. Le côté AC représente alors I_r. Cette

(1) Les échelles sont définies comme suit. Soient $E_s = 100$ kv, $b = 197$, $a = 0{,}87$.

Echelle A (arbitraire), par exemple 50 A pour 1 cm ;

$$\text{Echelle B} = \frac{50 \times b}{a} = 11\,300 \text{ v pour 1 cm};$$

$$\text{Echelle C} = \frac{50}{a} = 57{,}7 \text{ A pour 1 cm};$$

$$\text{Echelle D} = \frac{50 \times E_s}{a} = 5\,770 \text{ kv-A pour 1 cm}.$$

OT est à mesurer le long de OV ; on doit multiplier par $\sqrt{3}$ pour obtenir les valeurs en courant triphasé.

opération a été faite sur la figure 3 dans laquelle QI correspond à AC, QS, à AB et IS, à CB ;

$$QS = \frac{E_0 A}{B}$$

est le courant de court-circuit et l'angle

$$E_0 QS = \beta - \alpha.$$

Menons maintenant IR perpendiculaire à QS, et IM de telle manière que IMQ = QIS et de Q abaissons une perpendiculaire sur IM qui rencontre cette droite en P et le cercle en D ; QD est un diamètre de ce cercle.

La figure 4 est un exemple concret du diagramme général et comprend les constructions de toutes les quantités intéressantes et les méthodes de détermination des échelles. Il a été construit pour un facteur de puissance égal à l'unité et les cercles en trait ponctué représentent les cas de déphasage en avant ou en arrière à l'extrémité réceptrice. Ce diagramme absolument général s'applique à tous les circuits.

Pour construire le cercle, de O on mène $OQ = CE_s$ et $OS = \frac{AD}{B} E_s$ Par Q on mène QX parallèlement à l'axe des j. De Q on mène QD faisant un angle θ avec QX. On trace le cercle par Q et S avec le centre sur QD. Si $\theta = o$, QD = QX.

D'autre part, l'auteur montre que

$$A = D = \cos (lp\sqrt{LC}),$$

$$B = \sqrt{\frac{L}{C}} j \sin (lp\sqrt{LC}),$$

$$C = \sqrt{\frac{C}{L}} j \sin (lp\sqrt{LC}),$$

L étant le coefficient de self-induction par unité de longueur de la ligne ; C, sa capacité ; l, la longueur de la ligne ; p, le produit de 2π par la fréquence du courant. — M. R.

Présentation d'un appareil d'éclairage pour films sonores.

Sous ce titre, M.L. Dunoyer a présenté une communication à la séance du 2 mai 1930 de la Société française de Physique, dont le résumé a été publié dans le « Bulletin » de cette société (1) ; c'est ce résumé qui est reproduit ci-dessous.

On sait qu'un film dit « sonore » comporte, entre le bord des images visuelles et l'une des séries d'encoches destinées à l'entraînement du film, une bande de 3 mm de largeur réservée à l'enregistrement des sons. Cet enregistrement est fait par l'un ou l'autre des deux procédés suivants : dans le procédé à « densité constante », qui utilise en général le déplacement du spot d'un oscillographe, la bande sonore se trouve divisée en deux régions de densités photographiques constantes séparées par une courbe dentelée qui traduit les sons ; dans le procédé à « densité variable » la densité photographique est la même en tous les points d'une même transversale au film, mais cette densité varie constamment dans le sens de la longueur du film et ce sont les variations de la densité qui traduisent les sons. Pour reproduire ceux-ci, on fait passer à travers le film un faisceau de lumière que reçoit ensuite une cellule photoélectrique. Quand la pellicule défile, le flux reçu par la cellule se trouve modulé, ainsi que le courant photoélectrique qu'il ne reste plus qu'à amplifier pour actionner un haut-parleur.

(1) *Bulletin de la Société française de Physique*, 16 mai 1930, n° 294, p. 97 S-99 S.

Etant donné la vitesse admise pour le déroulement des films, l'intervalle de bande correspondant à la période de vibration d'un son musical est très petit pour les sons aigus et pour les harmoniques utiles à enregistrer. Il faut donc que le faisceau lumineux explorateur ne traverse le film que sur une très petite hauteur. La plus grande hauteur actuellement admise est de 0,05 mm et l'on adopte généralement 0,02 mm. Le problème de l'éclairage de la cellule photoélectrique à travers le film est donc absolument le même que celui qui doit être résolu dans tout microphotomètre enregistreur pour l'analyse des spectrogrammes.

Pour les films sonores, tous les appareils d'éclairage employés jusqu'à présent comportent une fente fine. Dans les uns cette fente est au contact du film ou extrêmement voisine. Dans les autres on forme l'image de la fente sur le film. Pour les premiers, la hauteur de la fente doit être égale à la hauteur qu'il faut éclairer sur le film, soit 0,02 mm et il est facile de se rendre compte que la distance de la fente au film doit être moindre ou du même ordre. Il en résulte que les poussières existant forcément à la surface du film, ou les poussières atmosphériques entraînées par lui, ne tardent pas à s'accumuler sur les bords de la fente ; cette accumulation produit, non seulement une diminution du volume sonore, mais, comme elle est irrégulière, des bruits parasites fâcheux. Dans les appareils à fente projetée cet inconvénient n'existe pratiquement pas, mais ils en conservent d'autres, communs à tous les appareils à fente, quand on éclaire celle-ci avec une lampe à filament spiralé : d'abord l'éclairement de la fente n'est pas uniforme et ensuite on n'utilise qu'une faible partie de la surface de la source, ce qui entraîne un gaspillage considérable de lumière. Le défaut d'uniformité de l'éclairage de la fente est évidemment très grave pour les films à densité constante ; il entraîne aussi de grandes variations de flux traversant la fente pour des déplacements très petits de la source ou du condensateur qui la projette sur la fente, déplacements qui peuvent être le résultat de faibles trépidations.

L'appareil présenté, construit par la Société de Construction des Appareils Dunoyer, ne comporte pas de fente. La source lumineuse est une lampe à filament rectiligne, particulièrement étudié pour n'être pas sensible aux trépidations, et fermée, dans la région que traverse la lumière utile, par une glace à faces parallèles soudée dans les parois. Cette lumière est reçue par un objectif photographique de très bonne qualité et de grande ouverture numérique, qui forme sur le film l'image du filament. L'emploi d'une glace à faces parallèles, d'épaisseur connue, pour la fermeture de la lampe, permet de tenir compte, dans le calcul de l'objectif, de l'astigmatisme qu'elle produit. Le filament n'ayant qu'un dixième de millimètre de diamètre, il est facile d'obtenir une image de 0,01 mm de hauteur en conservant entre l'objectif et le film une distance frontale assez grande, ce qui est souvent commode, et il serait évidemment aisé d'avoir une image exploratrice plus fine encore permettant d'atteindre des harmoniques plus élevés. La grande ouverture numérique de l'objectif (environ 0,3) donne beaucoup de lumière. La lampe étant alimentée par un courant de 1,5 A (sous 3 V), l'appareil, associé avec une cellule hémisphérique construite par la société précitée, fournit un courant utilisable de 2 μA environ. Sous ce régime, la lampe, peu poussée, dure plusieurs centaines d'heures.

La valeur élevée de ce courant photoélectrique permet d'utiliser l'appareil, sans amplification, pour l'analyse microphotométrique des spectrogrammes.

SECTION INDUSTRIELLE

Le parafoudre universel « corona » à chambre d'ionisation

Le nouveau parafoudre décrit dans cet article est basé sur l'utilisation de l'effet d'ionisation de l'air dû à la présence d'un sel radioactif au voisinage de l'éclateur. Rappelons que cet effet a été exposé dans ces colonnes (*) par MM. van Cauwenberghe et Marchal ; ces auteurs faisaient ressortir l'intérêt de l'influence du radium sur la régularité du phénomène de l'amorçage de l'arc. Une autre propriété, qui est à considérer dans le fonctionnement du parafoudre et qui est utilisée dans le modèle décrit ici, est l'influence des sels radioactifs sur l'extinction de ce même arc : comme le montrent les résultats d'essais dont il est rendu compte dans l'article qui suit, la tension d'extinction de l'arc est très voisine de celle d'amorçage. La description du nouveau parafoudre est précédée de considérations générales sur les surtensions et sur les principes des divers modes de protection existants contre ces surtensions, qui ont conduit à la réalisation du parafoudre « corona ».

I. **Les surtensions.** — Nous ne nous attacherons qu'à définir, d'une manière générale, les surtensions qui sont susceptibles de créer des accidents, perforations, amorçages, déclenchements, dans les réseaux à moyenne tension. Toutes les surtensions se ramènent à quelques cas types, bien connus aujourd'hui : les charges statiques ; les fronts d'ondes ou les ondes de haute fréquence, dont les effets sont identiques ; les phénomènes de grande amplitude, de nature plus ou moins oscillatoire.

A. **Les charges statiques.** — Il est généralement admis que le moyen le plus efficace d'écouler ces charges est de prévoir en quelques points du réseau des bobines à noyau de fer, dont l'entrée est raccordée au réseau et la sortie, à la terre.

La solution la plus élégante de ce problème est de prévoir, dès l'origine, des bobines avec deux enroulements, pour pouvoir les utiliser à plusieurs fins : comme transformateurs de mesure pour voltmètres, wattmètres et compteurs ; comme bobines d'écoulement, pour amortir les phénomènes oscillatoires au moment des mises à la terre ; pour l'alimentation des indicateurs de terre ; pour assurer le fonctionnement des relais dans la protection différentielle contre les phénomènes de surintensité de courant, etc.

Signalons, en passant, l'heureuse apparition des bobines en cascade (1) qui permettent aujourd'hui le comptage sur la très haute tension dans des conditions particulièrement économiques. Ajoutons que les bobines à noyau de fer employées dans les réseaux souterrains et convenablement calculées conduisent aux plus heureux effets pour la suppression des résonances locales à la suite des phénomènes de mise à la terre. Bien entendu, leurs frais d'installation n'auront même pas à entrer en ligne de compte puisqu'on les utilisera également comme transformateurs de potentiel, indicateurs de terre, etc.

En résumé, pour ce chapitre de la protection des réseaux, la solution complète et économique du problème est parfaitement atteinte et tend à se généraliser.

B. **Fronts d'ondes, ondes de haute fréquence et surtensions de grande amplitude.** — Ce titre embrasse tous les cas possibles. Les fronts d'ondes et les ondes de haute fréquence se différencient des surtensions de grande amplitude simplement par leurs effets.

Les premiers phénomènes sont caractérisés par le fait qu'ils engendrent entre des points très voisins d'un même circuit des différences de potentiel très différentes. Ils conduisent, principalement, à des perforations entre spires et à une fatigue répétée des isolants (contrainte électrique).

Les surtensions de grande amplitude sont caractérisées, au contraire, par l'existence de grandes différences de potentiel entre circuits sous tension et la terre, ou bien entre conducteurs de phases différentes. Elles conduisent principalement à des perforations, à la mise à la masse et affectent, elles aussi, la résistance des isolants.

En résumé, tous les phénomènes définis dans ce paragraphe appartiennent à deux catégories nettement distinctes, les uns qui se manifestent dans le sens axial des conducteurs et les autres, dans le sens radial. Il y a lieu de faire remarquer immédiatement que, dans l'ancienne technique de la protection des réseaux, les parafoudres ne visaient que l'une ou l'autre de ces deux catégories : ou les fronts d'ondes et phénomènes de haute fréquence, ou les surtensions de grande

(*) R. van Cauwenberghe et G. Marchal ; L'emploi du radium dans les éclateurs de mesure et les appareils de protection contre les surtensions. *Revue générale de l'Electricité*, 1er mars 1930, t. XXVII, p. 331-337.

(1) Les bobines Pfiffner sont décrites dans l'ouvrage de Georg Keinath. *Die Technik elektrischer Messgeräte*, t. I, édité par la librairie Oldenburg, à Berlin (1928).

amplitude, mais jamais les deux à la fois. Il en résultait, si l'on cherchait une protection complète, la nécessité d'envisager un dédoublement des appareils, au détriment de la place disponible, ce qui augmentait encore singulièrement les frais d'installation.

1. Phénomènes de la première catégorie : fronts d'ondes et ondes de haute fréquence. — Les moyens préventifs ont porté principalement sur deux facteurs : 1° On a renforcé les coefficients de sécurité et particulièrement amélioré les soins apportés à la confection des bobines d'entrée. De très grands progrès ont été réalisés dans cette voie. L'imprégnation des enroulements est complètement entrée dans la pratique courante de la construction électrique et il n'existe plus personne aujourd'hui pour en nier les heureux effets.

Toutefois, on ne doit pas considérer que l'adoption de coefficients de sécurité plus élevés qu'autrefois soit le remède radical et unique contre cette catégorie de phénomènes.

On reconnaît généralement aujourd'hui que, par les règles mêmes de la construction, établissement des dimensions des encoches, par exemple, on est limité dans la valeur réalisable des coefficients de sécurité et on ne peut obtenir une marge suffisante pour couvrir l'ensemble des cas qui se présentent normalement dans les réseaux à moyenne tension. D'autre part, une isolation trop renforcée augmente très rapidement le prix de revient du matériel électrique et le coût de la main-d'œuvre. Il ne peut donc s'agir là que d'une protection très efficace, mais insuffisante.

2° Différents constructeurs ont donc cherché des moyens directs de combattre les fronts d'ondes et les phénomènes de haute fréquence. Tous les systèmes ont eu pour but d'étaler les fronts d'ondes, avant leur arrivée dans les enroulements. Les constructeurs sont arrivés, plus ou moins, au résultat par des ensembles d'appareils : inductances shuntées (amortisseurs), qui, employées seules sont nettement insuffisantes (1); condensateurs et inductances, condensateurs et inductances shuntées, dont l'ensemble est dénommé « étouffeur d'ondes », et dont l'efficacité est plus ou moins grande en fonction de la valeur de la capacité.

L'efficacité est donc ici fonction du prix du condensateur et croît tellement rapidement que, pour obtenir une protection réellement effective, on arrive à des prix absolument prohibitifs. C'est la raison pour laquelle différents constructeurs ont cherché à établir des condensateurs moins coûteux, ceci, au détriment des coefficients de sécurité de ces appareils.

2. Phénomènes de la deuxième catégorie : surtensions de grande amplitude. — Il nous faudrait énumérer la longue liste des parafoudres à intervalles simples ou multiples pour qu'il nous soit possible de définir les anciens moyens de protection contre ces phénomènes.

(1) Principalement parce qu'elles sont sans effet contre les phénomènes de la deuxième catégorie, c'est-à-dire les surtensions de grande amplitude.

Tous sont conçus pour pouvoir écouler à la terre les décharges ou surtensions. La difficulté principale d'exécution des parafoudres réside dans l'extinction complètement assurée de l'appareil à chaque demi-période. C'est pourquoi ils possèdent presque tous des résistances d'amortissement assez importantes qui limitent le courant de la décharge. Il en résulte, pratiquement, que dans la plupart des parafoudres des anciens modèles, la valeur absolue des surtensions n'est réduite que de quelques centièmes au moment du fonctionnement.

Nous nous plaisons à rappeler que Giles et Pfiffner ont cherché, dans des constructions successives, à augmenter progressivement le débit de leurs « soupapes électriques ». Ils n'ont pu, toutefois, arriver à une disposition pratique, assurant une extinction certaine de leurs soupapes, puisque les colonnes élémentaires sont surmontées d'un fusible, ce qui nous semble une hérésie en matière de protection (1).

En résumé, tous les appareils destinés à combattre les phénomènes de la deuxième catégorie, c'est-à-dire, les surtensions de grande amplitude, présentent de graves ou réelles difficultés de fonctionnement : ou bien l'extinction n'est pas assurée à chaque demi-période, ce qui amène la destruction du parafoudre ou sa mise hors service, ou bien, par sa construction même, il possède des organes limitant le courant de décharge et, de ce fait, réduisant son efficacité, ce qui en fait un appareil imparfait.

II. **Principe du parafoudre universel « corona ».** Si l'on se rapporte au schéma de la figure 1, on voit immédiatement que cet appareil comprend les organes principaux suivants : une bobine d'inductance S; une

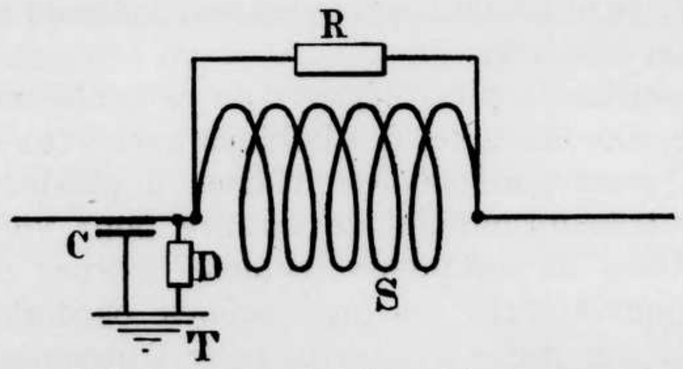


Fig. 1. — Schéma du parafoudre universel « corona» : C, capacité; D, déchargeur à chambre d'ionisation; R, résistance de shuntage; S, bobine d'inductance; T, terre.

résistance de shuntage R; une capacité appréciable C, constituant un point de réflexion d'ondes; un parafoudre proprement dit ou déchargeur D.

La figure 2 représente le croquis de ce parafoudre.

La bobine d'inductance est en fer, métal qui donne un excellent amortissement des ondes perturbatrices.

(1) Il est vrai que dans les appareils à une colonne, surnommés limiteurs d'oscillation, Pfiffner supprime le fusible de protection. Ce résultat n'a pu être obtenu que par le renforcement de la résistance d'amortissement, ce qui limite, encore une fois, le courant de décharge et, par suite, diminue sensiblement l'efficacité absolue de l'appareil.

La section de fer fixe l'intensité du courant pour laquelle le type de parafoudre sera établi. Il existe des modèles pour 25, 60, 150 et 300 A. La résistance de shuntage est en silite. Sa valeur est de 500 ohms, donnant l'amortissement maximum.

La capacité est réalisée de la manière suivante : Le diélectrique, en un tube isolant, est du carton bakélisé ou de la porcelaine. Les armatures extérieure et intérieure sont parfaitement visibles sur la figure 2. La

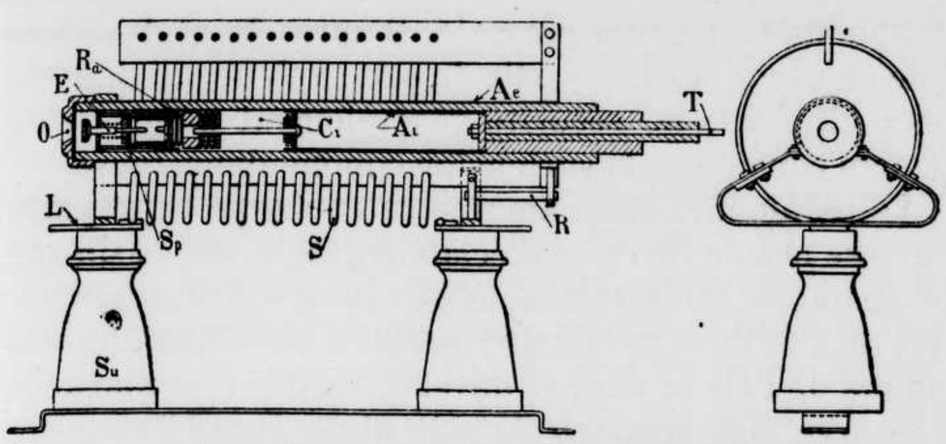


Fig. 2. — Croquis schématique du parafoudre universel « corona » : A_e, armature extérieure du condensateur ; A_i, armature intérieure du condensateur ; C_i, chambre d'ionisation ; E, éclateur ; L, ligne ; O, ouverture ; R_a, résistance d'amortissement ; R, résistance de shuntage ; S, bobine d'inductance ; S_p, soupape ; S_u, support ; T, terre.

première armature est en contact direct avec la ligne, la deuxième est reliée à la terre.

La combinaison de l'inductance shuntée et du condensateur, formant point de réflexion d'ondes, réalise un étouffeur d'ondes idéal. Son efficacité est, en effet, complète, par le fait qu'il n'existe aucune connexion entre l'entrée de l'inductance et la capacité. L'action de la capacité sur le front d'onde est donc immédiate, contrairement à ce qui se produit dans les anciennes combinaisons, où chacun des organes de la protection étaient séparés. Grâce à cette heureuse disposition, l'effet de protection se fait réellement sentir sur toute la première partie de l'onde initiale, qui est la plus dangereuse, et dès l'origine du phénomène (fig. 3).

On voit, au contraire, que dans les installations où les organes constitutifs sont séparés, l'action d'étale-

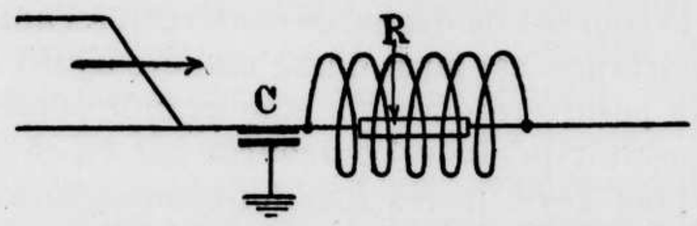


Fig. 3. — Schéma de la disposition du parafoudre universel « corona » vis-à-vis de l'onde à front raide à amortir.

ment du front d'onde ne peut se faire sentir immédiatement (fig. 4). En effet, à l'arrivée du front d'onde, au point de raccordement X, le condensateur n'agit pas encore. Une partie de l'onde, la plus dangereuse, continue son mouvement de progression dans l'installation à protéger. L'autre partie de l'onde doit faire le trajet aller et retour entre le point de raccordement X et le condensateur.

Le parafoudre, ou déchargeur, est dérivé directement au même point de jonction de la ligne et du condensateur. De cette manière, l'action du parafoudre se fait « sans retard », à l'instant précis où l'onde perturba-

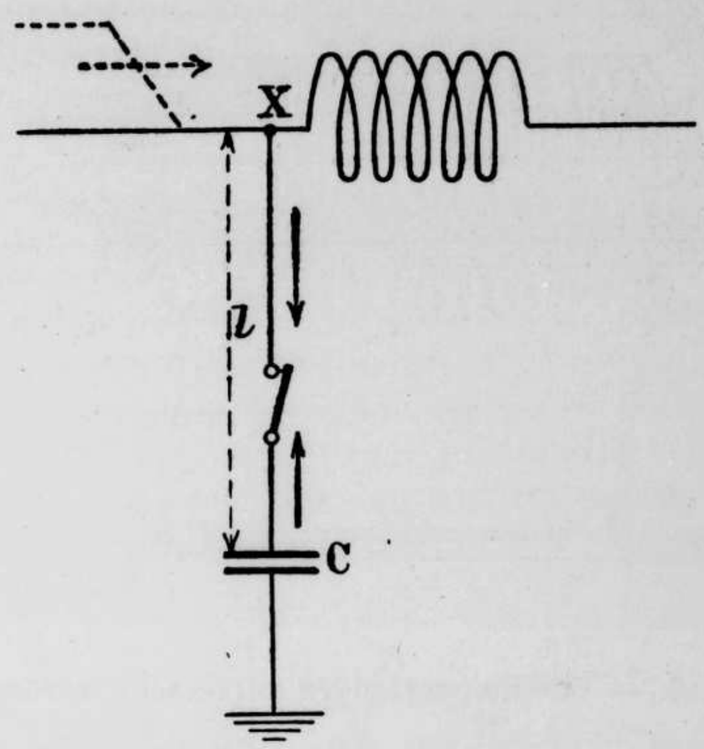


Fig. 4. — Schéma de la disposition des parafoudres des anciens modèles vis-à-vis de l'onde à front raide à amortir.

trice atteindra à son tour une amplitude dangereuse. En effet, ce que nous venons de dire précédemment au sujet de la suppression du retard dans le fonctionnement de la capacité pourra être appliqué dans ce cas au déchargeur.

Dans les parafoudres des anciens modèles, la connexion XX′ était toujours une cause de retard appréciable dans le fonctionnement de l'appareil (fig. 5) la

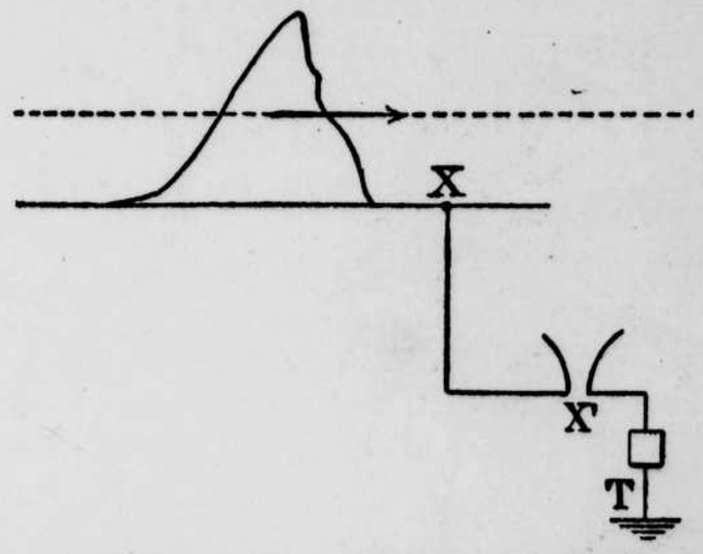


Fig. 5. — Schéma de la connexion entre le parafoudre proprement dit et la ligne dans les anciens modèles.

partie dangereuse de l'onde initiale pouvant toujours dépasser le point de jonction X et pénétrer dans les enroulements des transformateurs à protéger, avant même que le parafoudre ait eu le temps d'entrer en jeu.

La construction même du parafoudre « corona » se prête admirablement à l'utilisation aisée d'une mise à la terre unique aussi bien pour la capacité que pour le déchargeur. Elle permet de relier directement ces organes à la plaque de terre avec le minimum de coudes (fig. 6 et 7).

Ajoutons que la construction du parafoudre est d'autant plus robuste qu'il n'entre dans les organes essentiels aucune pièce pouvant être détruite sous l'effet des arcs, soit par échauffement, soit par carbo-

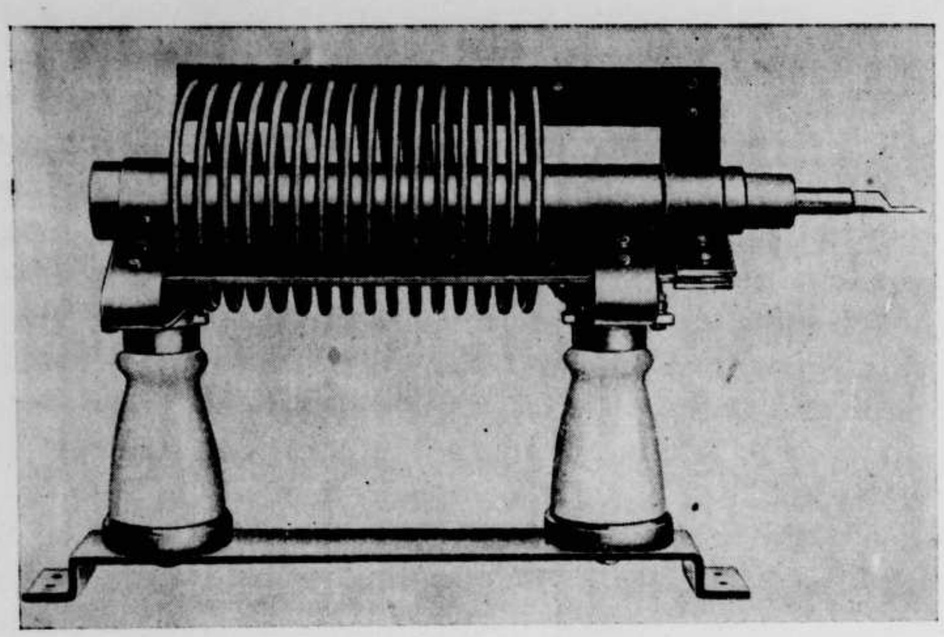


Fig. 6. — Vue du parafoudre universel « corona ».

nisation. Les éclateurs sont, en effet, séparés les uns des autres par des pièces isolantes en stéatite, matière réfractaire pouvant être portée à 1 600°C sans perdre pour cela aucune de ses qualités isolantes.

III. **Description des organes du parafoudre universel « corona ».** — 1. Chambre d'ionisation. — Comme on le voit sur la figure 2, le déchargeur proprement dit comprend un éclateur réglable, monté sur un disque métallique, reposant, par l'action d'un res-

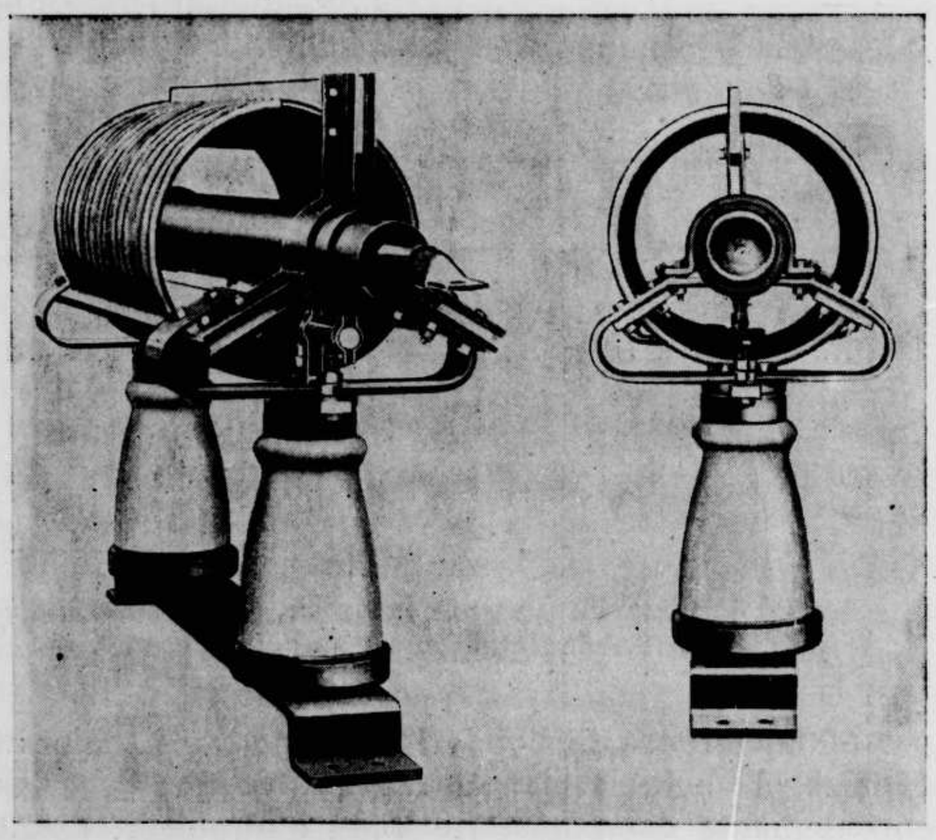


Fig. 7. — Autres vues du parafoudre universel « corona ».

sort, sur un siège de soupape; une résistance d'amortissement; une série d'éclateurs fixes, en aluminium; des rondelles intercalaires isolantes, en stéatite.

La résistance d'amortissement, les disques métalliques et les rondelles isolantes sont trouées au centre pour pouvoir être montées aisément sur une tige isolante centrale. L'espace disponible entre ces organes et la paroi extérieure constitue, en réalité, la chambre d'ionisation.

L'éclateur réglable permet de fixer, exactement, la tension d'amorçage du parafoudre. Pratiquement, on fixera cette tension à 1,5 ou 1,8 fois la tension normale du réseau, c'est-à-dire que l'appareil devra fonctionner avant que l'amplitude de la surtension atteigne le double de la tension normale. D'après la réglementation en usage, c'est à partir de cette valeur qui dépasse les coefficients de sécurité généralement admis qu'on pourra considérer la surtension comme dangereuse.

Le parafoudre étant amorcé, la décharge se propage, en vase clos, à travers les éclateurs fixes, successifs, de la chambre d'ionisation. L'élévation de température qui résulte de la décharge conduit à une dilatation très rapide de l'air et des gaz développés dès l'origine de la décharge. La soupape S_p agit alors immédiatement, quitte son siège et accroît la distance explosive de l'éclateur, ce qui favorise, comme on le conçoit aisément, l'extinction du parafoudre après disparition de la surtension qui l'aura amorcé. Cette soupape, qui aura plus ou moins quitté son siège, laissera les gaz, développés au début de la décharge, s'écouler librement dans l'atmosphère, par l'ouverture O.

Les essais ont montré que ce dispositif absolument nouveau fonctionnait d'une façon très satisfaisante et qu'il permettait d'obtenir l'extinction certaine de l'appareil sur courants alternatifs.

On se rend compte que, plus le débit de l'appareil sera élevé, c'est à-dire que plus la décharge sera violente, plus l'action mécanique des gaz sur la soupape sera grande et déterminera une augmentation plus grande et plus rapide de la distance explosive de l'éclateur réglable. Sitôt l'extinction obtenue, l'action d'un ressort ramène le disque de la soupape sur son siège et l'appareil sera prêt à fonctionner de nouveau à la tension initiale sur laquelle il aura été réglé.

2. Résistance d'amortissement. — Sa valeur est fixée pour limiter, au début du fonctionnement du parafoudre, le courant de décharge consécutif à l'amorçage. Cette résistance est faite d'une matière ayant la propriété de perdre rapidement une grande partie de sa valeur aussitôt qu'elle est parcourue par un courant de plus en plus élevé. Après fonctionnement, elle reprendra sa valeur initiale.

Cette propriété de la résistance sera surtout intéressante lorsqu'il s'agira de décharges ou surtensions de moindre importance, par exemple celles qui mettent en jeu une faible quantité d'énergie, le parafoudre fonctionnant alors comme un appareil ancien à intervalles multiples, mais de construction déjà très perfectionnée.

IV. **Utilisation de l'effet de couronne.** — 1. Résultats d'expérience et d'observation. — L'effet de cou-

ronne qui se produit sur les lignes aériennes à très haute tension détermine un état d'autoprotection. Dès qu'on atteint les très hautes tensions, et même sous tension normale, les couches équipotentielles, concentriques autour des conducteurs, créent comme on le sait, un champ électrique assez intense pour qu'il en résulte une ionisation de l'air ambiant, qui se traduit par un effet lumineux. Cette conductibilité électrique de l'air favorise nettement l'écoulement des surtensions sous forme de décharges à travers l'atmosphère. Il nous a été possible d'observer que, sous certaines conditions, ces décharges peuvent se manifester sous forme d'arcs, véritables petits « éclairs », favorisés par l'effet de couronne. Fréquemment, au moment des chutes de neige, tombant à gros flocons autour des lignes à très hautes tensions, on peut voir des décharges, partant des conducteurs, se propager à travers l'air, souvent à plusieurs mètres, jusqu'à la terre. N'est-ce pas là, à cause des flocons de neige, la représentation naturelle d'un véritable parafoudre à intervalles multiples ?

Le nombre des intervalles d'air entre conducteurs et terre atteignant des longueurs variables, mais parfois de plusieurs mètres, est généralement assez grand pour que l'arc de la décharge soit amorti et limite le débit. C'est tellement vrai que, le plus souvent, les disjoncteurs au départ et à l'arrivée des feeders ne déclenchent pas au moment de ces passages d'arc à la terre. L'écoulement d'une surtension dans l'air ionisé peut, naturellement, être très variable. Il dépendra de l'état barométrique et physique de l'atmosphère et des conditions électriques de l'installation.

Un des facteurs variables de la décharge sera la longueur même de l'arc, en supposant qu'il cherche le chemin de moindre résistance pour atteindre le sol. L'étude rigoureuse de la décharge est d'ailleurs assez complexe en raison du grand nombre de facteurs qui interviennent dans le phénomène de couronne et dont l'un est la valeur décroissante de l'ionisation au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la surface extérieure des conducteurs.

En résumé, l'action protectrice des hautes tensions se fait sentir par suite de la perte d'énergie en jeu dans la surtension à travers l'atmosphère. Plus la tension d'utilisation est élevée et plus la tension critique de décharge par la surface du conducteur se rapproche de la valeur de la tension normale du réseau. Toutes les surtensions supérieures à cette tension critique se détruisent d'elles-mêmes. L'énergie mise en jeu par ces surtensions est dissipée en radiation dans l'espace et transformée en énergie chimique avec formation d'ozone. Comme l'a dit Creighton (1), cette transformation n'étant pas réversible, la surtension dans la ligne se trouve radicalement supprimée.

2. Réalisation artificielle de l'effet de couronne. — Dans le parafoudre qui nous occupe, la chambre d'ionisation offre un chemin facile à la décharge née d'une surtension. Ici on favorise le passage de la décharge à la terre par l'introduction de disques métalliques convenablement espacés, qui feront cheminer plus facilement l'arc depuis l'éclateur réglable jusqu'à la terre, sans avoir besoin d'atteindre une ionisation trop élevée de l'espace ambiant.

Cette ionisation sera obtenue par le choix d'une activité suffisante des sels radioactifs déposés sur les rondelles isolantes (fig. 8). On la choisit assez forte pour que l'on puisse écarter les disques métalliques les uns des autres à des distances double ou triple de celles qu'on trouvait autrefois dans les parafoudres à intervalles multiples ordinaires. Ceci conduit naturellement au résultat favorable, en cas de décharge très violente, de ne plus mettre le parafoudre hors service à la suite des projections ou bavures métalliques des disques et rondelles, qui arrivaient à se souder entre

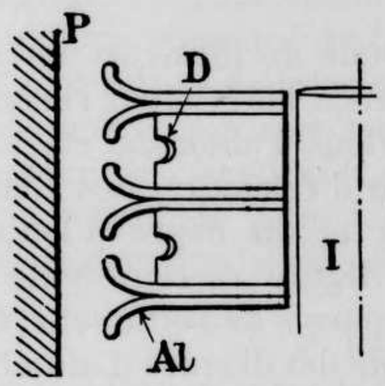


Fig. 8. — Croquis schématique montrant la disposition des rondelles isolantes sur lesquelles est déposé le sel radioactif : Al, lames d'aluminium ; D, dépôt de sels radioactifs ; I, isolant ; P, paroi extérieure.

eux, ce qui provoquait très souvent de violents courts-circuits à la terre. Enfin, grâce à la cheminée du parafoudre, s'il se produit une surtension de très grande amplitude, la décharge peut se propager aisément et sans obstacle jusqu'au sol, non seulement par un passage progressif entre les disques métalliques, mais encore par l'acheminement direct de l'arc dans l'air ionisé.

Pour rendre l'appareil plus sensible et favoriser son extinction après disparition de la surtension, on peut réaliser artificiellement une ionisation progressive par l'emploi de sels d'activité variable, au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point de la ligne où le parafoudre est branché.

V. **Fonctionnement du parafoudre universel « corona ».** — 1. Généralités. — On retrouve dans la littérature technique la description de parafoudres datant d'avant la guerre dans lesquels l'amorçage était facilité par l'ionisation de l'espace explosif à l'endroit prévu pour le passage de la décharge. Dans le parafoudre de la Land-und See-Kabelwerke Aktien-Gesellschaft, ce résultat était obtenu (fig. 9) par un petit éclateur relié directement au réseau par l'intermédiaire d'une très forte résistance R. L'effluvation qui en résulte est proportionnelle à la tension entre ligne et terre. La Siemens-Schuckertwerke Aktien-Gesellschaft a créé

(1) E.-F. Creighton. *Proceedings of the American Institute of electrical Engineers*, mars 1911, t. xxx, p. 377-445.

autrefois un parafoudre à cornes dans lequel l'effet d'ionisation, entre pointes, était réalisé par un petit oscillateur Tesla entrant en jeu, en cas de surtension.

La création d'une chambre d'ionisation, dans le parafoudre « corona », a un rôle bien plus étendu, comme nous allons le prouver, en nous appuyant sur le résultat des essais de cet appareil au laboratoire. Le fait d'ioniser l'espace ambiant non plus autour d'un

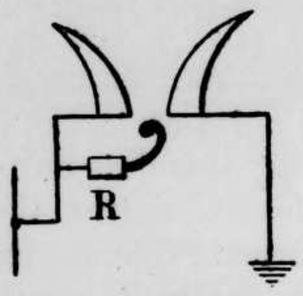


Fig. 9. — Schéma du parafoudre de la Land-und-See-Kabelwerke Aktien-Gesellschaft avec petit éclateur destiné à l'ionisation de l'air.

seul éclateur mais de plusieurs en série, permet de mettre en évidence les lois qui relient entre elles les courbes de tensions d'amorçage et d'extinction en fonction du nombre d'éclateurs, des distances explosives entre éclateurs et du degré d'ionisation de l'atmosphère (1). La figure 10 représente une série d'éclateurs entre les parois de l'effluveur. Ces éclateurs sont constitués ici par des disques d'aluminium, légèrement emboutis, séparés les uns des autres par des rondelles isolantes I. Avec une ionisation nulle, $\alpha = 0$, c'est-à-dire dans l'air ordinaire, on retrouvera un parafoudre à intervalles multiples de l'ancien système. Pour un nombre déterminé d'éclateurs, l'amorçage se produira, pour une tension croissante, à une valeur T_1. Quand la

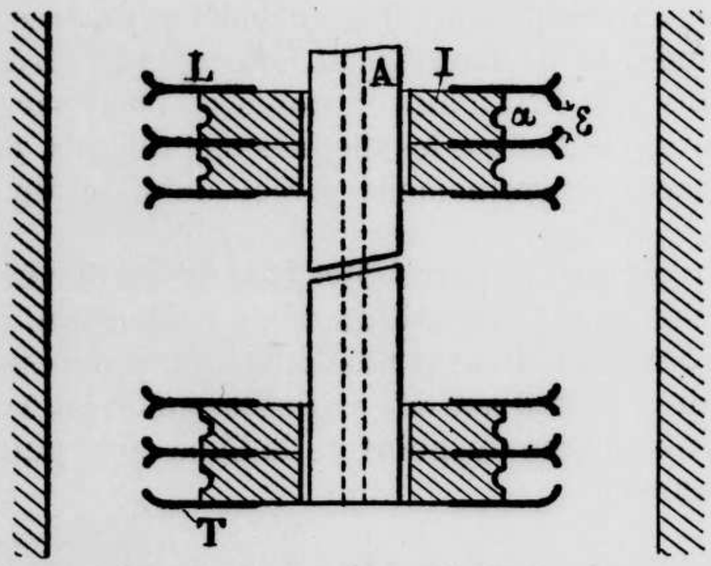


Fig. 10. — Schéma d'une série d'éclateurs du parafoudre « corona » : I, rondelles isolantes ; L, point relié à la ligne ; T, point relié au sol.

tension qui aura provoqué l'amorçage commencera à diminuer, l'extinction se produira au moment où la tension aura atteint la valeur T_2. La qualité du parafoudre sera déterminée par la plus ou moins grande différence qui existera entre la tension d'amorçage et la tension d'extinction.

L'idéal, on le conçoit aisément, consiste à essayer d'obtenir une tension d'extinction aussi voisine que possible de la tension d'amorçage. Dans les parafoudres à intervalles multiples dans l'air, on avait remarqué que le rapprochement des courbes de tensions d'amorçage et d'extinction était obtenu en multipliant le nombre des éclateurs et en diminuant la distance explosive entre éclateurs.

Nous rappellerons à ce sujet que dans les fabrications courantes, parafoudres à rouleaux ou à disques, les distances d'éclatement, entre éclateurs, atteignaient couramment des distances de 0,2 à 0,4 mm. Pratiquement, au moment du fonctionnement prolongé de ces appareils, les divers éléments se soudaient entre eux, amenant leur destruction et provoquant de violents courts-circuits. C'est pour remédier partiellement à cet inconvénient qu'on a fait intervenir l'effet d'antenne, qui, tout en permettant de multiplier le nombre des éclateurs pour une tension d'amorçage déterminée, permet d'augmenter légèrement les distances d'éclatement.

2. Effet d'antenne. — Dans un parafoudre à intervalles multiples ordinaire, le premier éclateur est au potentiel de la ligne, le dernier, au potentiel de la terre. Le potentiel des éclateurs intermédiaires se répartit suivant une loi hyperbolique. Dans le parafoudre à antenne, chacun des éclateurs constitue l'armature d'un petit condensateur dont le tube isolant est le diélectrique, l'antenne étant l'autre armature. Le premier éclateur est toujours au potentiel de la ligne, mais le deuxième éclateur est déja au potentiel de la

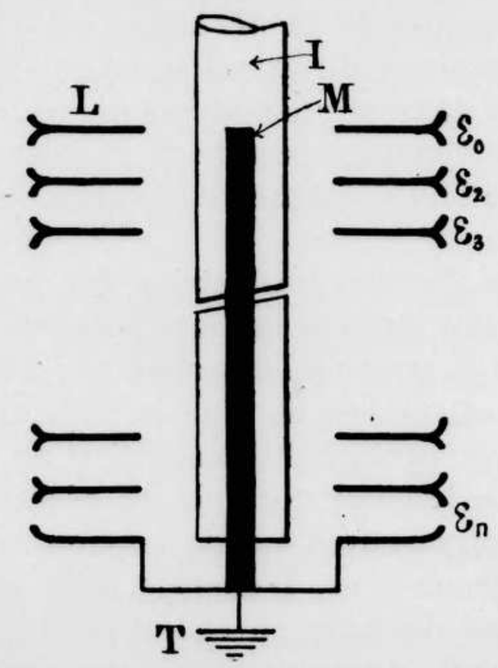


Fig. 11. — Schéma de la disposition des éclateurs du parafoudre « corona » montrant l'effet d'antenne : I, tube isolant ; L, point relié à la ligne ; M, tube métallique relié à la terre T.

terre, à travers le condensateur constitué par l'éclateur, la tige isolante et l'antenne (fig. 11).

Nous citerons à titre d'exemple, le cas d'un parafoudre ordinaire à intervalles multiples, de construc-

(1) Ces courbes sont également fonction de la conductibilité plus ou moins grande de l'air par suite de l'échauffement, du dégagement des vapeurs et gaz entraînant même des particules métalliques.

tion récente, dont le nombre d'éclateurs est égal à 30; la distance d'éclatement étant de 1,8 mm, sans antenne, cet appareil donnait :

Tension d'amorçage, 55 000 v;
Tension d'extinction, 9000 v.
Le même parafoudre, avec antenne, donne :
Tension d'amorçage, 18 000 v;
Tension d'extinction, 12 000 v.

Ce parafoudre était prévu pour une tension normale de service de 10 000 v.

3. Influence de l'ionisation de l'air. — Les expériences nombreuses, auxquelles nous avons procédé, ont mis en évidence l'apparition d'un phénomène nouveau. L'effet d'antenne, dans l'air ionisé, est intensifié de telle sorte qu'il y a concordance presque complète avec les tensions d'amorçage et d'extinction du parafoudre. Ce résultat n'a rien de surprenant si l'on considère que les ions émis par les sels radioactifs se comportent tous comme les armatures de condensateurs multiples et mobiles. Autrement dit, entre les éclateurs métalliques, il y a une multitude de petits éclateurs intermédiaires idéaux (1).

Pour des activités de valeurs variables et relativement faibles, il est possible de pouvoir écarter les éclateurs fixes, métalliques, à des distances atteignant 3 mm et 3,5 mm bien que la tension d'extinction du parafoudre ait pratiquement la même valeur que la tension d'amorçage. En réalité, les essais que nous avons répétés au Laboratoire central d'Electricité prouvent que le parafoudre à chambre d'ionisation a perdu complètement, dans son fonctionnement, le caractère brutal et incertain des anciens appareils à intervalles multiples. Voici les résultats que donne un parafoudre « corona » de ce type normal 10 000 v :

Pour 12 000 v, légères effluves;
Pour 14 000 v, aigrettes;
Pour 16 000 v, étincelles bleues;
Pour 18 000 v, arc.

La tension dangereuse était de 20 000 v.

Grâce à l'effet de couronne, l'appareil est d'un fonctionnement doux et progressif. Les différents stades (effluves, aigrettes, étincelles et arcs), se produisent suivant des courbes de tension d'amorçage et d'extinction coïncidant parfaitement entre elles.

4. Mode d'ionisation. — L'ionisation est produite ici par désintégration intra-atomique du radium. L'atome, en se détruisant, produit une émission de particules α et β et un rayonnement non corpusculaire γ. L'effet ionisant est dû surtout aux particules α émises à raison de 136 millions par seconde pour 1 milligramme de radium, dont la destruction n'est cependant que de moitié en 1750 ans (1).

C. Franck,
Ingénieur, membre de l'American Institute of electrical Engineers.

(1) C. Gutton; Sur les propriétés des gaz ionisés dans les champs électromagnétiques de haute fréquence. *Comptes rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 7 avril 1930, t. CXC, p. 844-847; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 5 juillet 1930, t. XXVIII, p. 2 D.

(1) Ce phénomène de désintégration corpusculaire est mis en évidence dans le spinthariscope de Muguet. L'atome en se détruisant produit une émission de particules projetées avec une telle rapidité que, malgré leur poids infinitésimal, le choc produit sur le sulfure de zinc provoque sa phosphorescence, les points lumineux étant visibles à la loupe.

Étude analytique du fonctionnement de groupes électrogènes en parallèle au cours d'une variation de charge

(*Suite et fin*) (*).

(*) *Revue générale de l'Electricité*, 13 septembre 1930, t. XXVIII, p. 405-412.

IV. **Mécanisme de la perturbation dans le cas où les deux régulateurs sont supposés infiniment sensibles.** — A. **Etude des oscillations dans le cas de groupes supposés appareillés.** — 1. Equation de l'équilibre dynamique. — Ces équations sont celles du système (8). Avant de traiter le problème dans toute sa généralité, nous ferons d'abord quelques hypothèses, correspondant à une simplification de calcul et permettant de dégager quelques vues préliminaires sur la question.

Soit donc

$$C_{max} = C'_{max}, \qquad 2\mathfrak{C} = 2\mathfrak{C}', \qquad \omega = \omega'.$$

Les deux groupes couplés, s'ils satisfont à cette triple condition, seront, comme nous l'avons dit, appareillés; cette éventualité n'est pas impossible à réaliser. Tel serait le cas de l'association d'un groupe hydraulique, pour lequel $2\mathfrak{C} = 2 \times 12{,}50 = 25$, ce qui constitue une valeur fréquemment rencontrée et d'un moteur à gaz pour lequel on aurait

$$2\mathfrak{C} = 2 \times 12{,}50 = 25$$

ce qui correspond également à une éventualité fréquente.

Les C_{max} et C'_{max} pourraient être identiques, ainsi que les vitesses (1,5 t:s pour les gros moteurs à gaz, etc., une valeur du même ordre pour une turbine lente). Toutefois, ne craignons pas de répéter que la réalisation de cette triple condition correspondrait à un ensemble de coïncidences tel en pratique que nous

ne devons la retenir que comme un seul mode d'exposition didactique — du reste très avantageux — du problème du couplage.

Les équations d'équilibre pourraient ainsi s'écrire dans ces conditions

$$\left.\begin{aligned} C_{moy}(\varepsilon+\varepsilon')-C_{moy}\left(\frac{t}{\theta}+\frac{z}{E_i}\right)&=K\omega_0\left(\frac{dz+dz'}{dt}\right)\\ C_{moy}(\varepsilon-\varepsilon')-C_{moy}\left(-\frac{t}{\theta}+\frac{z}{E_i}\right)-C_{moy}\Delta(z-z')&\\ =K\omega_0\left(\frac{dz-dz'}{dt}\right)&\end{aligned}\right\}\quad(12)$$

avec

$$\Delta=\frac{I_{cc}}{I_{normal}};$$

le couple synchronisant, $C_{moy}\Delta(z-z')$ a son signe lié à $(z-z')$, pour les génératrices à courant continu ou alternatif, supposées aussi respectivement de type identique.

Donc, toutes simplifications faites, il viendra

$$\left.\begin{aligned}(\varepsilon+\varepsilon')-\frac{t}{\theta}-\frac{z}{E_i}&=2\mathfrak{T}\frac{d}{dt}(z+z')=2\mathfrak{T}\frac{d}{dt}(2z-Z)\\ (\varepsilon-\varepsilon')+\frac{t}{\theta}-\frac{z}{E_i}-\Delta(z-z')&=2\mathfrak{T}\frac{d(z-z')}{dt}.\end{aligned}\right\}\quad(12')$$

Prenons comme variables $Z=z-z'$ et z. Remarquons en particulier que, une fois vaincus les retards dus aux sensibilités, les vitesses z' seront plus grandes que les vitesses z. Donc, suivant l'équation (12), $\Delta(z-z')$ est négatif, mais les formules précédentes où n'entrent que des quantités algébriques valent dans tous les cas.

Il en résulte les équations transformées

$$\varepsilon+\varepsilon'-\left(\frac{t}{\theta}+\frac{z}{E_i}\right)=2\mathfrak{T}\frac{d}{dt}(-Z+2z),\quad(12'')$$

$$\varepsilon-\varepsilon'+\frac{t}{\theta}-\frac{z}{E_i}-\Delta Z=2\mathfrak{T}\left(\frac{dZ}{dt}\right),\quad(12''')$$

$$-z=E_i\left(2\frac{\mathfrak{T}dZ}{dt}+\Delta Z-\frac{t}{\theta}\right)-(\varepsilon-\varepsilon')E_i,\quad(13)$$

$$-\frac{dz}{dt}=E_i\left(2\mathfrak{T}\frac{d^2Z}{dt^2}+\Delta\frac{dZ}{dt}-\frac{1}{\theta}\right),\quad(13')$$

d'où par substitution de z et de $\frac{dz}{dt}$ dans (12'')

$$\left.\begin{aligned}-\frac{t}{\theta}+(\varepsilon+\varepsilon')+\left(2\mathfrak{T}\frac{dZ}{dt}+\frac{dZ}{dt}-\frac{t}{\theta}\right)-(\varepsilon-\varepsilon')&\\ =2Z\left[\left(-\frac{dZ}{dt}-2\mathfrak{T}E_i\left(2\mathfrak{T}\frac{d^2Z}{dt^2}+\Delta\frac{dZ}{dt}-\frac{1}{\theta}\right)\right]\right.,&\end{aligned}\right\}\quad(14)$$

c'est-à-dire tous calculs faits

$$\left.\begin{aligned}4\mathfrak{T}E_i\frac{d^2Z}{dt^2}+4\mathfrak{T}(1+4E_i)\frac{dZ}{dt}+\Delta Z&\\ -2\left(t+\frac{2\mathfrak{T}E_i}{\theta}\right)+2\varepsilon'=0.&\end{aligned}\right\}\quad(14')$$

La solution de cette équation différentielle est évidemment, Z_1 étant solution générale de l'équation sans second membre et Z_2, solution particulière de cette équation de forme linéaire $\alpha t+\beta$,

$$Z=Z_1+Z_2$$

$$Z_1=e^{-\left(\frac{1+\Delta E_i}{4\mathfrak{T}E_i}\right)t}\left[\lambda e^{\frac{t\sqrt{1+\Delta^2E_i^2}}{4\mathfrak{T}E_i}}+\lambda' e^{\frac{-t\sqrt{1+\Delta^2E_i^2}}{4\mathfrak{T}E_i}}\right]\quad(15)$$

$$Z_2=\frac{2}{\Delta\theta}\left[t-2\mathfrak{T}\left(\frac{2}{\Delta}-E_i\right)-\varepsilon'\theta\right].\quad(15')$$

Pour $t=0$, on aura en particulier

$$\lambda+\lambda'=\frac{2}{\Delta\theta}\left[2\mathfrak{T}\left(\frac{2}{\Delta}-E_i\right)-\varepsilon'\theta\right].\quad(16)$$

Une deuxième condition est fournie par la relation

$$2\mathfrak{T}\left(\frac{dZ}{dt}\right)_{t=0}=(\varepsilon-\varepsilon')\quad(16')$$

Formant $\frac{dz}{dt}$ et prenant sa valeur pour $t=0$, on a

$$\frac{1+\Delta E_i}{4\mathfrak{T}E_i}[\lambda+\lambda']+\frac{\sqrt{1+\Delta^2E_i^2}}{4\mathfrak{T}E_i}[\lambda-\lambda']=\frac{\varepsilon-\varepsilon'}{2\mathfrak{T}}-\frac{2}{\Delta\theta}\quad(16'')$$

ce qui nous donne $\lambda-\lambda'$, $\lambda+\lambda'$ ayant la valeur définie par (16); or $\lambda-\lambda'$ est une expression facile à calculer et du reste d'un intérêt limité. Nous ne nous en occuperons pas pour l'instant.

2. Application. — Prenons encore $\mathfrak{T}=10$, $\Delta=10$, $E_0=0{,}05$ (machine à courant continu).
Il viendra pour Z

$$Z=e^{\frac{-t\delta t}{2}}\left[\lambda e^{\frac{t\sqrt{1{,}25}}{2}}+\lambda' e^{\frac{-t\sqrt{1{,}25}}{2}}\right]+\frac{2}{\Delta\theta}\left[t-20\left(\frac{2}{\Delta}-0{,}05\right)-\varepsilon'\theta\right].$$

Soit par exemple $\theta=5$ secondes; nous aurons finalement

$$Z=e^{-0{,}75t}[\lambda e^{0{,}56t}+\lambda' e^{-0{,}56t}]+0{,}04[t-3-\varepsilon'\theta]$$

On remarquera que, en régime rétabli

$$\varepsilon E_i=\varepsilon' E'_i$$

c'est-à-dire que

$$\frac{\varepsilon}{E'_i} = \frac{\varepsilon'}{E_i} = \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{E_i + E'_i},$$

$$\varepsilon + \varepsilon' = 2\eta,$$

η étant la diminution relative de la charge totale.

Donc

$$\varepsilon' = \eta \frac{E_i}{E_i + E'_i} = \eta \frac{0{,}05}{0{,}05 + 0{,}02}.$$

Soit $\eta = 0{,}50$ pour fixer les idées. Nous aurons ainsi

$$\varepsilon' = 0{,}50 \times \frac{5}{7} = 0{,}50 \times 0{,}71$$

$$\varepsilon'\theta = 0{,}50 \times 5 \times 0{,}71 = 1{,}77.$$

Ainsi, suivant nos hypothèses :

$$Z = e^{-0{,}75t}[\lambda e^{0{,}56t} + \lambda' e^{-0{,}56t}] + 0{,}04[t - 4{,}77].$$

Pour $t = 0$, nous aurons $Z = 0$.

Soit ici

$$\lambda + \lambda' = 0{,}188.$$

De même, formons $\frac{dZ}{dt}$ et prenons sa valeur pour $t = 0$

$$\left(\frac{dZ}{dt}\right)_{t=0} = -0{,}75(\lambda + \lambda') + 0{,}56(\lambda - \lambda') + 0{,}04.$$

Compte tenu de $\lambda + \lambda' = 0{,}188$, il vient

$$\lambda - \lambda' = -0{,}264,$$

d'où, finalement

$$\lambda = -0{,}038 \quad \text{et} \quad \lambda' = 0{,}276.$$

Z se présente donc sous la forme

$$Z = e^{-0{,}75t}[-0{,}038\, e^{+0{,}56t} + 0{,}226\, e^{-0{,}56t}] + 0{,}04(t - 4{,}77).$$

B. **Observations.** — On peut constater aisément, en limitant le développement des exponentielles aux termes en t^2, que Z s'annule pour $t = 0$, et pour $t = 5$ s, et qu'il devient maximum pour $t = 4{,}55$ s environ. On trouverait que pour cette valeur, Z maximum est de l'ordre de 12,5 pour 100 pour une décharge de 50 pour 100. La perturbation de vitesse est à la fois aggravée et améliorée du fait du choix de deux groupes électrogènes à régulateurs dissemblables. Le groupe à régulateur direct (régulation $Z(t)$ à exponentielle négative), a un fonctionnement théorique médiocre et une influence quasi nulle dans la première partie de la perturbation. Une partie de sa tâche incombe au groupe à régulateur indirect, dont l'action doit être plus vaste que si les deux groupes avaient même écart relatif de vitesse et même loi de régulation.

Dans ce cas, la perturbation passerait par son maximum pour $t = 2{,}5$ s et z maximum aurait pour valeur (formule classique)

$$z = \frac{\varepsilon^2\theta}{4\mathfrak{T}} \quad \text{avec } t_{max} = \theta\varepsilon = 2^{sec},5.$$

Au contraire, ici, Z_{max} vaut 0,125, et le temps où ce maximum se produit est 4,55 s ; il est donc retardé dans le temps, ce qui est un avantage, mais accru en valeur absolue, ce qui est un inconvénient. En fait, le groupe à action indirecte règle, pour une décharge totale de 50 pour 100, à peu près comme s'il était affecté de la décharge totale. Cette comparaison est donc manifestement défavorable aux combinaisons à groupes mixtes, dans le cas de décharge partielle. Elle l'est moins dans le cas de décharge complète, comme nous allons le voir. En effet, pour une décharge complète, on aurait pu remarquer que le temps pour lequel Z aurait pris la valeur zéro aurait été sensiblement égal à 8 s, au lieu de 5,5 s pour la demi-charge. La valeur de Z_{max} n'aurait pas été sensiblement modifiée. Le temps de la réalisation de ce maximum aurait été accru légèrement (5 s), mais l'avantage réside dans ce fait que les vitesses de groupes pourvus de régulateurs à action directe ne varient relativement que peu, pendant la perturbation. Ces groupes constituent des sortes d'étalons sur lesquels les groupes à action indirecte règlent leur marche. Z se rapproche beaucoup, dans ce cas, de la valeur z, en vertu des équations ci après

$$Z = z - z', \qquad z' = \frac{\omega' - \omega'_0}{\omega'_0} = \frac{\omega' - \omega'_0}{\omega_0}.$$

Or, z varie toujours relativement peu par rapport à la vitesse moyenne de régime.

On pourrait traiter de la même manière le cas où les deux groupes ne sont pas appareillés (C_{max} et C'_{max}, $2\mathfrak{T}$ et $2\mathfrak{T}'$, ω_0 et ω'_0 respectivement différents). Les formules en z et z' sont naturellement plus compliquées, mais elles n'offrent aucune difficulté d'intégration.

En particulier, avec certaines valeurs de $\mathfrak{T}$ et de $\mathfrak{T}'$, on semble pouvoir avoir pour z une solution trigonométrique de la forme ci-après

$$Z_1 = Z_1{}^0 e^{-\rho t} \cos\left(\frac{2\pi t}{T_1} + \nu\right) + \alpha t + \beta$$

avec T_1 déduit des constantes de l'équation à intégrer.

On aura α et β de la façon habituelle.

De même, Σ_0 et ν sont obtenus par identification. Quant à ρ et T_1, ce sont des constantes organiques du problème, mais si la fonction z de T est ondulée, dans ce cas il n'en est pas moins vrai qu'elle n'acquiert la valeur o (instant pour lequel l'asservissement devrait avantageusement fonctionner) qu'après avoir décrit un certain nombre d'ondulations. Tel est le cas du couplage de deux groupes pour lesquels les autres facteurs resteraient égaux, mais pour lesquels on aurait des valeurs de $\mathfrak{T}$ différentes.

Que le groupe à régulateur indirect ait une valeur de $\mathfrak{C}$ beaucoup plus forte que l'autre, c'est en général une circonstance qui ne se rencontre guère.

On notera enfin qu'en supposant que les charges se répartissent suivant les proportions ci-après

$$\frac{\varepsilon}{E'_i} = \frac{\varepsilon'}{E_i} = \frac{\varepsilon+\varepsilon'}{E_i+E'_i} = \frac{\varepsilon-\varepsilon'}{E'_i-E_i},$$

c'est-à-dire conformément aux indications déduites des caractéristiques de régime établi, on a commis une pétition de principe. En réalité, si l'égalité $\varepsilon+\varepsilon'=2\eta$ est toujours rigoureusement exacte, le couple maximum de chacune des machines à la pleine charge constituant la moitié de la charge totale de l'ensemble, à chaque instant, ε et ε' ont des valeurs variables. En conséquence, l'équation du mouvement moyen vaut seule. On ne sait rien du partage, à chaque instant, des décharges partielles entre les deux groupes, ε et ε' n'étant que des valeurs finales. L'équation utilisée est une équation de tendance. On pourrait apporter une correction à nos formules; nous ne le ferons pas.

Nous aurions pu, enfin, adopter pour les couples résistants, des formes proportionnelles aux vitesses pour chaque dynamo. La forme la plus simple que nous avons choisie ne conduit pas, comme nous l'avons démontré déjà dans certaines circonstances, à des résultats très différents de ceux obtenus avec une formule plus complète.

C. Cas général : Oscillations de groupes non appareillés. — 1. FORME ANALYTIQUE DU PROBLÈME. — Nous aurons la suite d'équations ci-après

$$\left(-\frac{t}{\theta}-\frac{z}{E_i}\right)+(\varepsilon+\varepsilon')=2\mathfrak{C}\frac{dz}{dt}+2\mathfrak{C}'\frac{dz'}{dt} \qquad (17)$$

$$\left(\frac{t}{\theta}-\frac{z}{E_i}\right)+(\varepsilon-\varepsilon')+\Delta(z-z')=2\mathfrak{C}\frac{dz}{dt}-2\mathfrak{C}'\frac{dz'}{dt}. \qquad (17')$$

Posons

$$\varepsilon=\frac{a}{E_i} \qquad \varepsilon'=\frac{a}{E'_i},$$

$$\varepsilon+\varepsilon'=2\eta \quad \text{et} \quad \varepsilon-\varepsilon'=2\eta\left(\frac{E'_i-E_i}{E_i+E_i}\right)$$

$$2\mathfrak{C}z=\varpi \quad \text{et} \quad 2\mathfrak{C}'z'=\varpi'$$

puis

$$\Omega=\tilde{\omega}-\tilde{\omega}', \quad \delta=\frac{E'_i-E_i}{E'_i+E'_i} \quad \text{et} \quad \frac{1}{2\mathfrak{C}}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'}=\frac{1}{2\Theta}.$$

Si $\mathfrak{C}<\mathfrak{C}'$ (tel serait le cas d'un groupe avec turbine hydraulique auquel correspond $\mathfrak{C}'$, accouplé à un groupe avec machine à vapeur ou moteur à gaz), nous aurons

$$\left(-\frac{t}{\theta}-\frac{\tilde{\omega}'}{2\mathfrak{C}'E'_i}\right)+2\eta=\frac{d\Omega}{dt}+\frac{2\,d\tilde{\omega}}{dt}$$

$$\left(-\frac{t}{\theta}+\frac{\tilde{\omega}'}{2\mathfrak{C}'E'_i}\right)+2\eta\left(\frac{E'_i-E_i}{E'_i+E_i}\right)+\frac{\Delta\Omega}{2\mathfrak{C}}+\frac{\Delta\tilde{\omega}'}{2\Theta}=\frac{d\Omega}{dt}$$

ce qui donne

$$\tilde{\omega}'\left[\frac{-1}{2\mathfrak{C}'E'_i}+\frac{\Delta}{2\Theta}\right]=\frac{d\Omega}{dt}-\frac{\Delta\Omega}{2\mathfrak{C}}-2\eta\delta+\frac{t}{\theta}$$

d'où

$$\tilde{\omega}'=\frac{1}{\left(\frac{\Delta}{2\Theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}\right)}\left(\frac{d\Omega}{dt}-\frac{\Delta}{2\mathfrak{C}}\Omega+\frac{t}{\theta}-2\eta\delta\right),$$

et

$$\frac{d\tilde{\omega}'}{dt}=+\left(\frac{d^2\Omega}{dt^2}-\frac{\Delta\,d\Omega}{2\mathfrak{C}\,dt}+\frac{1}{\theta}\right)\frac{1}{\frac{\Delta}{2\Theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}}.$$

Portons dans (17'); il vient

$$-\frac{t}{\theta}-\left(\frac{d\Omega}{dt}-\frac{\Delta}{2\mathfrak{C}}\Omega+\frac{t}{\theta}-2\eta\delta\right)\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}\frac{1}{\left(\frac{\Delta}{2\Theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}\right)}+2\eta$$

$$=\frac{d\Omega}{dt}+2\left[\frac{\frac{d^2\Omega}{dt^2}-\frac{\Delta\,d\Omega}{2\mathfrak{C}\,dt}+\frac{1}{\theta}}{\frac{\Delta}{2\Theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}}\right].$$

Posons

$$\frac{\Delta}{2\Theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}=\frac{1}{\Sigma} \quad \text{et} \quad 2\mathfrak{C}'E'_i\frac{1}{\Sigma}=\frac{1}{\Psi}$$

Σ est homogène à un temps, et Ψ est sans dimension.

On aura du reste approximativement, avec les valeurs habituelles

$$2\mathfrak{C}E'_i=2\times 25\times 0{,}02=1$$

$$2\mathfrak{C}E_i=2\times 10\times 0{,}05=1.$$

Il vient, tous calculs faits,

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}(2\Sigma)+\frac{d\Omega}{dt}\left(1-\frac{2\varepsilon\Delta}{2\mathfrak{C}}+\Psi\right)-\frac{\Psi\Delta}{2\mathfrak{C}}\Omega$$

$$+\frac{t}{\theta}(1+\Psi)-2\eta(1+\Psi\delta)+\frac{2\Sigma}{\theta}=0$$

Or si l'on remarque que

$$1>\frac{1}{2\Theta}=\left(\frac{1}{2\mathfrak{C}}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'}\right)>0 \quad \text{et} \quad \frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}=1,$$

on voit que

$$\left(\frac{1}{\Sigma}\right)<0.$$

Posons

$$\frac{1}{\Sigma'}=\left(\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}-\frac{1}{2\Theta}\right).$$

Nous aurons ainsi

$$+\frac{d^2\Omega}{dt^2}(2\Sigma') - \frac{d\Omega}{dt}\left(\frac{1}{2}\frac{t^2\Sigma'\Delta}{\mathfrak{C}}+\Psi\right)$$

$$+\Psi\frac{\Delta}{2\mathfrak{C}}\Omega-\frac{t}{\theta}(1+\Psi)+2\eta(1+\Psi\delta)+\frac{2\Sigma}{\theta}=0,$$

$$\left(-\frac{t}{\theta}+2\eta\right)2\mathfrak{C}'E_i\left(\frac{\Delta}{2\Theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}\right)-\frac{d\Omega}{dt}-\frac{\Delta\Omega}{2\mathfrak{C}}+\left(\frac{t}{\theta}-2\eta\delta\right)$$

$$=\frac{d\Omega}{dt}2\mathfrak{C}'E'_i\left(\frac{\Delta}{2\theta}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'E'_i}\right)$$

$$+2\left(\frac{d^2\Omega}{dt^2}-\frac{\Delta}{2\mathfrak{C}}\frac{d\Omega}{dt}+\frac{1}{\theta}\right)2\mathfrak{C}'E'_i$$

ou en introduisant $\frac{1}{\Sigma}$,

$$\frac{d^2\Omega}{dt}(2\mathfrak{C}\mathfrak{C}'E'_i)+\frac{d\Omega}{dt}\left(\frac{2\mathfrak{C}'E'_i}{\varepsilon}+1\right)-2\mathfrak{C}\mathfrak{C}'E'_i\frac{\Delta}{2\mathfrak{C}}\frac{d\Omega}{dt}$$

$$-\Omega\frac{\Delta}{2\mathfrak{C}}-\frac{t}{\theta}+\frac{t}{\theta}\frac{2\mathfrak{C}'E'_i}{\varepsilon}+2\eta\frac{2\mathfrak{C}'E'_i}{\varepsilon}=0$$

2. Application numérique. — Nous aurons aisément

$$\frac{1}{2\Theta}=\frac{1}{2\mathfrak{C}}-\frac{1}{2\mathfrak{C}'}=\left(\frac{1}{20}-\frac{1}{50}\right)=0{,}05-0{,}02=0{,}03.$$

De même

$$\frac{1}{\Sigma'}=1-0{,}03=0{,}97 \quad \text{et} \quad \Sigma'=1{,}03,$$

$$\Psi=\frac{1}{\Sigma}=-0{,}97.$$

Examinons le cas du courant continu, avec $\Delta=10$. Il vient

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}(1{,}03\times 2)-\frac{d\Omega}{dt}\left(1+2\frac{10}{20}1{,}03+0{,}97\right)+0{,}97\frac{10}{20}\Omega$$

$$+\frac{t}{\theta}(1-0{,}97)-2\eta(1-0{,}97\,\delta)+\frac{2\times 10^3}{\theta}=0.$$

Or

$$\delta=\frac{E'_i-E_i}{E_i+E'_i}=\frac{0{,}02-0{,}05}{0{,}02+0{,}05}=-\frac{0{,}03}{0{,}07}=-\frac{3}{7}=-0{,}43,$$

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}(2{,}06)-\frac{d\Omega}{dt}(1+1{,}03-0{,}97)+0{,}97\,\Omega$$

$$+\frac{t}{\theta}(0{,}03)-2\eta(1+0{,}97\times 0{,}43)-\frac{2{,}06}{\theta}=0,$$

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}(2{,}06)-\frac{d\Omega}{dt}(1{,}06)+0{,}97\,\Omega+\frac{t}{\theta}(0{,}03)$$

$$-2\eta\,0{,}42+\frac{2{,}06}{\theta}=0.$$

Reste à fixer η et θ. Considérons deux cas extrêmes. Soit $\eta=0{,}10$, décharge partielle, ou 1, décharge totale et $\theta=2$ secondes.

Dans le cas d'une décharge partielle $\eta=0{,}10$, il vient

$$\frac{d^2\Omega}{dt}(2{,}06)-\frac{d\Omega}{dt}(1{,}06)+\Omega(0{,}97)+t(1{,}015)-1{,}084=0$$

et dans le cas d'une décharge complète ($\eta=1$)

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}(2{,}06)-\frac{d\Omega}{dt}(1{,}06)+\Omega(0{,}97)+t(0{,}015)-1{,}84=0.$$

Nous aurons à intégrer l'équation de la forme déjà rencontrée

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}\times 2{,}06-\frac{d\Omega}{dt}\times 1{,}06+\Omega\times 0{,}97+t\times 0{,}015-1{,}084=0.$$

Or, Ω est de la forme

$$\Omega=\Omega_1+\Omega_2,$$

où

$$\Omega_2=At+B \quad \text{et} \quad \Omega_1=\Omega_0 e^{\frac{-1{,}06\,t}{2\times 2{,}06}}\cos(0{,}415\,t-\sigma),$$

A et B étant à déterminer.

De l'identification classique, il résulte que

$$A=-0{,}0158 \quad \text{et} \quad B=-1{,}095,$$

où toujours, avec l'hypothèse $\eta=0{,}10$ (décharge partielle)

$$\Omega=-0{,}0158\,t+1{,}095+\Omega_0 e^{-0{,}26\,t}\cos(0{,}415\,t-\sigma).$$

Pour déterminer Ω_0 et σ, on posera pour $t=0$,

$$\Omega=\tilde{\omega}-\tilde{\omega}'=2\mathfrak{C}z-2\mathfrak{C}'z',$$

où

$$z=0 \quad \text{et} \quad z'=0,$$

d'où $\Omega=0$.

De même, pour $t=0$,

$$K=\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_0=C_{m_0}-C_{r_0}+\varepsilon\,C_{m_0},$$

$$K'=\left(\frac{d\omega'}{dt}\right)_0=C'_{m_0}-C'_{r_0}+\varepsilon' C_{m_0},$$

d'où

$$2\mathfrak{C}\left(\frac{dz}{dt}\right)_0=\varepsilon=\left(\frac{d\tilde{\omega}}{dt}\right)_0,$$

$$2\mathfrak{C}'\left(\frac{dz'}{dt}\right)_0=\varepsilon'=\left(\frac{d\tilde{\omega}'}{dt}\right)_0,$$

mais on a

$$\varepsilon-\varepsilon'=2\eta\left(\frac{E'_i-E_i}{E'_i+E_i}\right).$$

Il en résulte, pour $t = 0$,

$$0 = 1{,}095 + \Omega_0 \cos \sigma.$$

De plus

$$\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_0 = \left(\frac{d\tilde{\omega}}{dt}\right)_0 - \left(\frac{d\tilde{\omega}'}{dt}\right)_0 = \varepsilon - \varepsilon' = 2\eta \frac{E'_i - E_i}{E'_i + E_i}.$$

Formant $\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_0$ et prenant sa valeur pour $t = 0$, on obtient

$$\Omega_0 \sin \sigma = \frac{1}{0{,}415}\left[2\eta \frac{E'_i - E_i}{E_i + E'_i} + 0{,}0158 - 1{,}13 \times 0{,}26\right].$$

Or

$$\frac{E'_i - E_i}{E_i + E'_i} = \frac{0{,}02 - 0{,}05}{0{,}02 + 0{,}05} = -\frac{3}{7}$$

d'où enfin

$$\Omega_0 \sin \sigma = -2{,}41 \times 0{,}160$$

Il en résulte, rapprochées, ces deux valeurs

$$\Omega_0 \sin \sigma = -0{,}385,$$

$$\Omega_0 \cos \sigma = -1{,}095,$$

donc

$$\operatorname{tg} \sigma = 0{,}35,$$

$$\sigma = 19°30',$$

$$\Omega_0 = 1{,}160.$$

La forme définitive de Ω est donc, en remarquant que

$$\Omega_1 = -e^{-0{,}26t} \times 1{,}193 \times \cos(0{,}415\, t - 0{,}340),$$

d'où

$$\Omega = -0{,}0158\, t + 1{,}095 - e^{-0{,}26t} \times 1{,}193 \cos(0{,}415\, t - 0{,}340).$$

Nous pourrons vérifier encore que pour $t = 0$, $\Omega = 0$.

En effet, on a bien ici

$$\Omega = 0 = 1{,}093 - \Omega_0 \cos \sigma = 1{,}093 - 1{,}095.$$

La courbe correspondante se construirait sans difficulté. On reconnaîtra aisément son allure générale : $\Omega = 0$ pour la valeur t_1 constitue encore un point intéressant à choisir pour le déblocage du régulateur indirect.

On étudierait de même façon le cas où $\eta = 1$, c'est-à-dire de la décharge totale. L'équation à utiliser est alors

$$\frac{d^2\Omega}{dt^2}(2{,}06) - \frac{d\Omega}{dt}(1{,}06) + \Omega(0{,}97) + t(0{,}015) - 1{,}84 = 0.$$

On a alors

$$\left.\begin{aligned} A &= -0{,}0158, \\ B &= -\frac{1{,}84}{0{,}97} = -2, \end{aligned}\right\}$$

$$\left\{\begin{aligned} \Omega'_0 \cos \sigma' &= -2, \\ \Omega'_0 \sin \sigma' &= -1{,}26 \times 2{,}41 = -0{,}036, \end{aligned}\right.$$

ce qui nous donne

$$\Omega'_0 = -3{,}64 \quad \text{et} \quad \sigma' = 1{,}026 \text{ radian},$$

d'où l'équation finale

$$\Omega = -0{,}0158\, t + 2 - 3{,}64\, e^{-0{,}26t} \cos(0{,}415\, t - 1{,}026).$$

La courbe pourrait se construire comme précédemment. On vérifiera que pour $t = 0$, $\Omega = 0$, car

$$\Omega = 0 = -2 + \Omega_0 \cos \sigma = -2 + 2.$$

D. **Observations**. — En résumé, le problème que nous avons traité n'a pu l'être qu'en faisant usage de nombreuses approximations, destinées à rendre le calcul possible. Nous ne nous faisons aucune illusion sur ce point. En particulier, nous avons dû supposer que les régulateurs étaient tous infiniment sensibles, ou de même sensibilité. En fait, la période pendant laquelle les régulateurs ne sont pas impressionnés est tellement faible par rapport à la période de la perturbation où ils fonctionnent, que bien des auteurs omettent même de se préoccuper de cette première phase des phénomènes.

On notera enfin que nous avons traité le problème simplement jusqu'au moment précis où l'asservissement fonctionne ; c'est la loi analytique même adoptée pour la manœuvre de la vanne du groupe à turbine qui l'indique. En un mot, le but occulte, en quelque sorte, que nous avons poursuivi est le suivant : déterminer, le moins mal possible, l'instant auquel l'asservissement du groupe à régulateur indirect doit fonctionner pour permettre d'arriver le plus rapidement et le moins tumultueusement possible au nouveau régime.

Signalons, en terminant, que la deuxième phase du problème ne peut être traitée qu'en faisant intervenir la compensation. Ou bien, en effet, on laisse les deux groupes, bien que de même capacité, pourvus de charges très différentes, ce qui est illogique après la décharge partielle de l'ensemble (dans ce cas, il n'est pas besoin de toucher aux régulateurs) ; ou bien on doit s'imposer le retour, pour la nouvelle charge réduite, à une égale répartition des charges entre les deux groupes. Il faut alors agir au moins sur l'un des régulateurs, c'est-à-dire déplacer sa caractéristique dans le plan (voir plus loin les deux figures 13 et 14, qui représentent respectivement les deux modes d'actions possibles).

On aurait pu traiter avec la même aisance, non plus le cas de deux groupes, mais le cas de n groupes, sans

même qu'il y ait nécessité de l'hypothèse pour chacun d'un nombre égal de groupes à turbines ou de groupes à pistons. On peut considérer l'ensemble des groupes de chacune de ces catégories comme un groupe unique de puissance globale, même comme une usine génératrice plus ou moins lointaine de la première. Les irrégularités de groupe à groupe dans chacune de ces catégories sont toujours secondaires par rapport aux différences de marche respectives des deux grandes catégories de moteurs.

Enfin, on a exclu toute considération de courant synchronisant d'usine à usine, comme nous l'avons dit au début. C'est un facteur généralement favorable. En conséquence, les conclusions auxquelles nous sommes arrivés, et que nous allons concrétiser en terminant, doivent être considérées, ainsi qu'il est de sécurité dans les cas analogues, comme des conclusions pessima.

V. **Conclusions.** — Pour en terminer avec l'étude de la régulation des groupes en parallèle, nous croyons nécessaire de préciser, en les appuyant sur des représentations graphiques, les principales conclusions auxquelles nous sommes arrivés, en les dépouillant naturellement de tout appareil mathématique.

Premier cas. — Si la perturbation est provisoire et suffisamment peu importante, elle peut n'actionner aucun des régulateurs. C'est à l'inertie des groupes à faire face à la variation de charge introduite par la perturbation. Les régulateurs directs de moteurs à gaz ou à vapeur (à piston) ayant des caractéristiques plus inclinées que les régulateurs de groupes hydrauliques ou de turbines à vapeur, c'est l'inertie des moteurs à piston qui leur permettra d'« endosser » la plus grande partie de la variation de la charge.

Si la perturbation est permanente, un nouveau régime s'institue à l'intérieur des plages de régulation, sans que les régulateurs soient « alertés » (fig. 3).

Deuxième cas. — La perturbation « alerte » l'un des régulateurs, et n'alerte pas l'autre. Le nouveau régime, si la perturbation est définitive, peut encore se concevoir comme le précédent; glissement du point figuratif parallèlement aux abscisses, dans la plage d'inertie du régulateur non sensibilisé, et naissance d'une courbe de perturbation correspondant à un nouveau réglage à effectuer par le régulateur sensibilisé. Il y a, en pratique, intérêt à ce que le régulateur le plus sensible soit le régulateur direct (fig. 6 et 7).

Troisième cas. — La perturbation alerte à la fois les deux régulateurs. Si elle est provisoire, aux arcs des courbes de perturbation correspondant à cette modification des charges, correspondront des arcs inverses pour le retour à l'équilibre ancien. Si la perturbation est permanente, un nouveau régime s'instituera par le jeu des régulateurs (fig. 10).

On peut, partant d'un régime initial, s'arranger de manière que la répartition des charges pour le régime final soit la même qu'au début, $\varepsilon = \varepsilon'$; ainsi, eu égard à la différence d'inclinaison des caractéristiques, les vitesses ne sont pas les mêmes, alors qu'elles l'étaient au début (vitesses réduites, bien entendu). Ce sera par exemple le cas de groupes à courant continu pour lesquels le maintien d'une fréquence ne s'impose pas identique pour les deux.

Si l'on s'astreint à ce que les vitesses des deux machines pour le nouveau régime soient les mêmes,

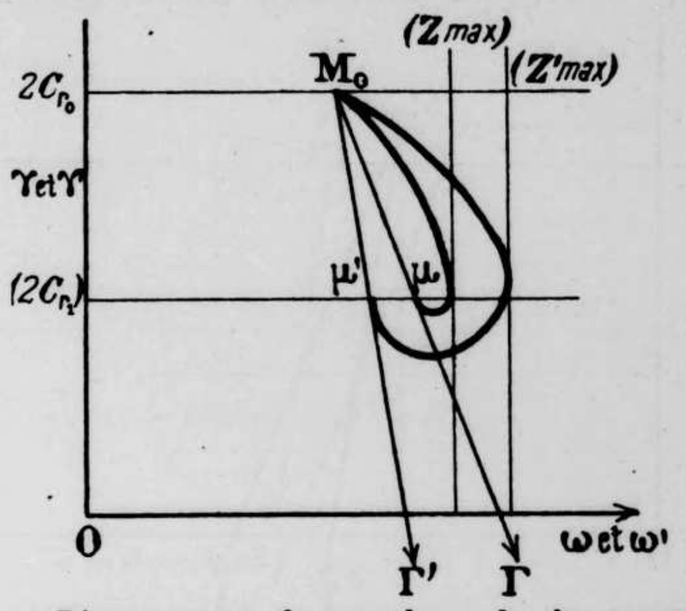


Fig. 10. — Diagrammes de couplage de deux groupes en parallèle (régulateur direct et régulateur indirect dans le cas de la variation respective de vitesse des deux groupes); cas général : fortes oscillations de fréquence, les vitesses au cours de la perturbation n'étant pas à chaque instant les mêmes.

comme pour l'ancien, les charges seront différentes pour les deux groupes, étant entendu qu'on ne touche pas aux régulateurs. C'est ce que montre la figure 11. On en déduit que la caractéristique du régulateur direct étant plus inclinée que celle du régulateur indirect, la variation de charge affectera moins celui-ci que le précédent; d'où cette conclusion, donnée par beaucoup de praticiens, mais qu'il était bon de justifier par un graphique, que lorsque la perturbation met en branle les deux régulateurs, ce sont les groupes à turbines à caractéristiques moins inclinées qui assurent la plus grande partie des variations de charge. C'est une conclusion contraire à celle donnée dans le premier cas, où l'inertie des *groupes à pistons* se chargeait, au con-

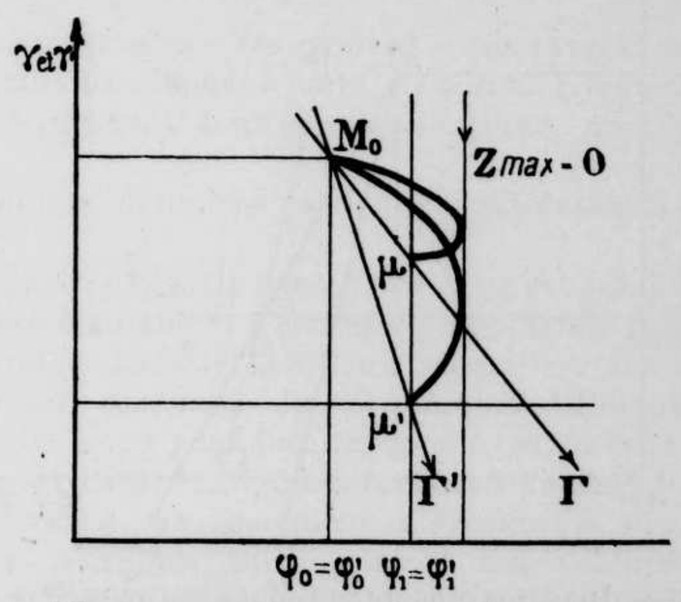


Fig. 11. — Diagramme de couplage de deux groupes en parallèle, les vitesses restant approximativement les mêmes au cours de la perturbation.

traire, de leur faire « endosser » la majeure partie des variations de couples résistants (fig. 12).

Enfin, si l'on ne s'astreint plus à ne pas toucher aux régulateurs, toutes les combinaisons sont possibles ; la figure 12 en représente une dans laquelle on a exercé

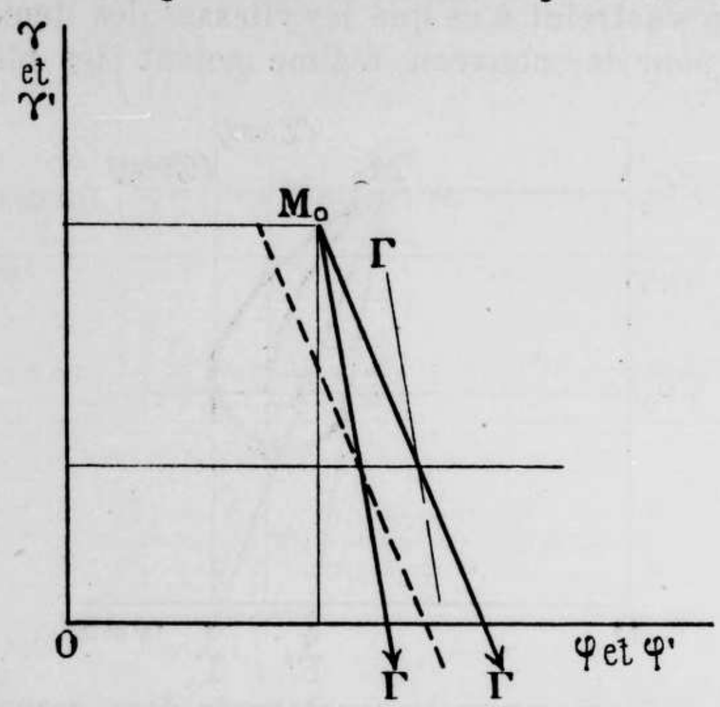


Fig. 12. — Diagrammes de couplage en parallèle de deux groupes avec emploi de la compensation pour rétablir l'équilibre des charges à vitesse constante dans le cas où on agit sur le régulateur indirect.

une compensation sur le régulateur du groupe à turbines, de manière à lui faire donner, en fin de perturbation, la même vitesse, et lui faire assurer la même charge que le groupe à pistons (fig. 13).

La compensation peut s'effectuer également sur le régulateur direct, mais elle est souvent moins com-

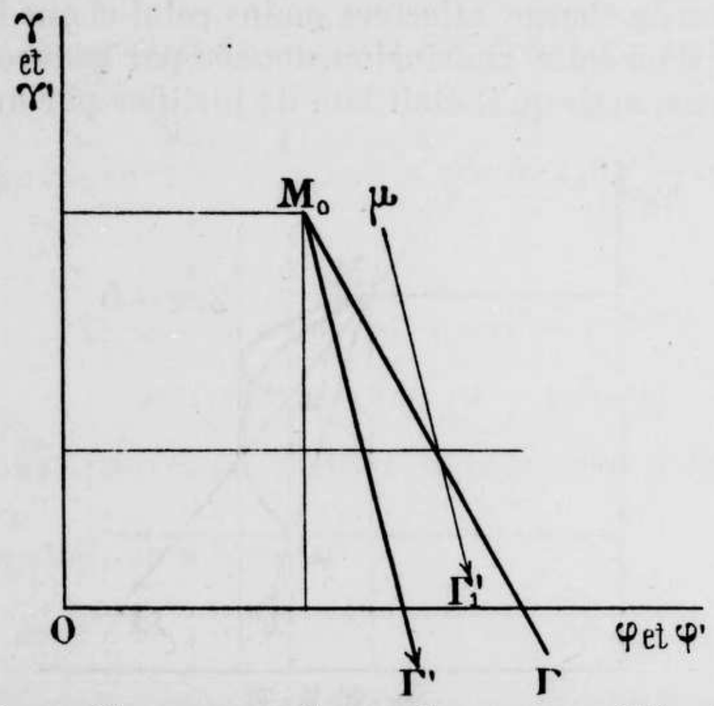


Fig. 13. — Diagrammes de couplage en parallèle de deux groupes avec emploi de la compensation pour rétablir l'équilibre des charges à vitesse constante dans le cas où on agit sur le régulateur direct.

mode, comme on le sait, d'après la constitution même des deux sortes d'appareils (fig. 14).

Résumé. — L'étude très schématique que nous avons donnée d'un problème fort intéressant et encore mal résolu, aurait besoin d'être complétée par l'introduction d'un certain nombre d'éléments, secondaires peut-être, mais qui influent néanmoins sur les résultats de cette analyse. D'abord, si nous avons tenu compte des effets synchronisants dans la marche en parallèle des divers groupes d'une même usine, nous

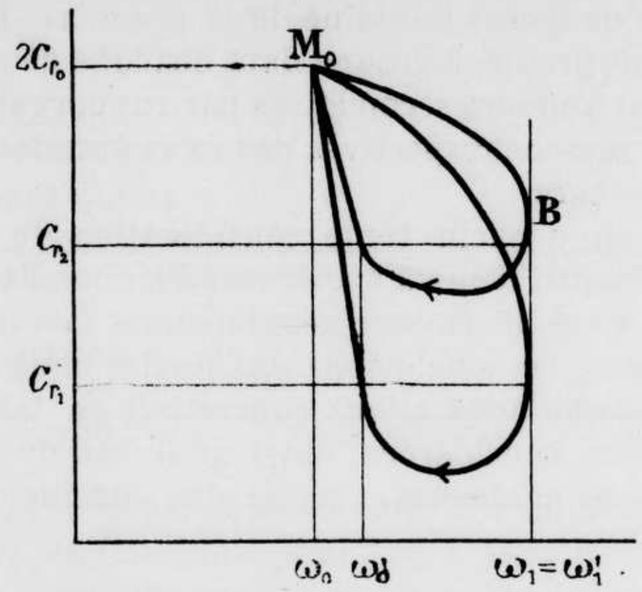


Fig. 14. — Diagrammes de couplage de deux groupes en parallèle (cas où l'on arrête le régulateur indirect au moment où les vitesses instantanées des deux groupes sont les mêmes).

avons omis de traiter ainsi le cas d'usines plus ou moins lointaines couplées en parallèle. En général, l'effet de courants synchronisants, d'usine à usine, sera à peu près le même que ceux des mêmes courants agissant sur les groupes d'une station isolée. Toutefois, la présence de lignes relativement longues et leur combinaison avec les circuits d'alternateurs presque uniquement inductifs ont pour effet de diminuer le déphasage entre la force électromotrice effective de synchronisation et le courant synchronisant. Dans le cas de deux alternateurs affectés à une même usine, ce déphasage est pratiquement de $\frac{\pi}{2}$; il peut tomber à $\frac{\pi}{4}$ si la ligne est suffisamment longue. Il en résulte une plus grande promptitude à corriger les écarts angulaires, mais en général, on pourra se contenter de considérer les usines à distance, comme situées à proximité les unes des autres, c'est-à-dire que les courants synchronisants modifiés par la présence des lignes ayant un effet plus bienfaisant que lorsqu'ils s'exercent dans une même usine, les conditions de proximité utilisées à titre de sécurité seront des conditions pessima.

Ce schéma très simple d'usines interconnectées doit être compliqué, en pratique, du fait de la présence de points nodaux dans les lignes d'interconnexion, et de points spéciaux singuliers (postes de transformation, dérivations, etc.).

En terminant, qu'il nous soit permis de faire mention d'une étude fort intéressante, publiée l'année dernière dans « L'Industrie électrique », par M. Guery (1) et relative justement, mais en partie seulement,

(1) F. Guery; Sur l'utilité de l'interconnexion asynchrone des stations centrales d'électricité et les moyens de la réaliser. *L'Industrie électrique*, 10 mai 1929, t. XXXVIII, p. 197-206, résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 22 juin 1929, t. XXV, p. 213 D.

à cette question de marche en parallèle des usines génératrices, étude pleine de renseignements pratiques des plus précieux. Nous croyons donc, à titre subsidiaire, que l'exposé graphique et mathématique qui précède pourra apporter, non pas un éclaircissement — car ce travail est très clair — mais tout au moins l'appoint d'un commentaire et d'une présentation pédagogique un peu plus accessible pour tous peut-être, au bel exposé de notre très averti collègue.

L. Barbillion.

ANNEXE : Cas de deux groupes couplés avec régulateur à action directe

1. Observations : Position du problème. — Bien que cette question soit extérieure au cadre que nous nous étions tracé, nous l'examinerons cependant, comme intéressante, au moins sous l'angle des possibilités qui se déduisent de la méthode employée pour étudier le couplage de deux groupes à régulateurs de catégories différentes. Ici les équations à utiliser sont évidemment

$$\left(\varepsilon - \frac{z}{E_i}\right) - \frac{\Delta}{2}(z - z') = 2\mathfrak{C}\frac{dz}{dt}, \qquad (a)$$

$$\left(\varepsilon' - \frac{z'}{E_i}\right) + \frac{\Delta}{2}(z - z') = 2\mathfrak{C}'\frac{dz'}{dt}. \qquad (b)$$

Exprimant encore, au moyen de (a), z' et $\frac{dz'}{dt}$ en fonction de z et $\frac{dz}{dt}$, on obtient l'équation du second ordre

$$4\mathfrak{C}\,2\mathfrak{C}'\left(\frac{d^2z}{dt^2}\right) + \frac{dz}{dt}\left[2\mathfrak{C}\left(\frac{1}{E'_i} + \frac{\Delta}{2}\right) + 2\mathfrak{C}'\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\right]$$

$$+ z\left[\left(\frac{1}{E'_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right) - \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2\right] - (\varepsilon + \varepsilon')\frac{\Delta}{2} - \frac{\varepsilon}{E'_i} = 0. \qquad (c)$$

Cette équation s'intègre avec la plus grande facilité ; z se présente sous la forme

$$z = \left[\frac{(\varepsilon + \varepsilon')\Delta}{2} + \frac{\varepsilon}{E'_1}\right]\frac{\Delta}{\left(\frac{1}{E'_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right) - \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2} + z_1.$$

Soit

$$G = \frac{(\varepsilon + \varepsilon')\frac{\Delta}{2} + \frac{\varepsilon}{E'_i}}{\left(\frac{1}{E'_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right) - \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2}.$$

avec

$$z_1 = e^{-\frac{t}{8\mathfrak{C}\mathfrak{C}'}\left[2\mathfrak{C}'\left(\frac{1}{\Sigma'_i} + \frac{\Delta}{2}\right) + 2\mathfrak{C}\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\right]}\left[Ae^{-\Sigma t} + Be^{+\Sigma t}\right]. \qquad (d)$$

En posant encore

$$\Sigma = \left[\sqrt{\left[2\mathfrak{C}'\left(\frac{1}{E'_i} + \frac{\Delta}{2}\right) - 2\mathfrak{C}'\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\right]^2 + 16\mathfrak{C}\mathfrak{C}'\left(\frac{\Delta}{2}\right)^2}\right]2\mathfrak{C}\mathfrak{C}' \qquad (e)$$

et

$$\Sigma' = \left[2\mathfrak{C}'\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right) + 2\mathfrak{C}\left(\frac{1}{E_i} + \frac{\Delta}{2}\right)\right]\frac{1}{2\mathfrak{C}\mathfrak{C}'}, \qquad (f)$$

ce qui nous donne

$$z = G + e^{-\Sigma' t}\left[Ae^{-\Sigma t} + Be^{-\Sigma t}\right]. \qquad (g)$$

On remarquera encore que pour $t = 0$, $z = 0$

$$A + B = -G,$$

et

$$\left(\frac{dz}{dt}\right)_{t=0} = \frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}},$$

d'où

$$\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} = (A + B)(-\Sigma') + \Sigma(A - B),$$

$$\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} = -G\Sigma' + \Sigma(A - B);$$

d'où enfin

$$(A - B) = \left(\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} + G'\Sigma\right)\frac{1}{\Sigma}$$

qui, rapprochée de

$$A + B = -G$$

donne

$$A = \frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} + G\frac{\Sigma' - \Sigma}{\Sigma}\right)$$

$$B = -\frac{1}{2}\left(\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} + G\frac{\Sigma' + \Sigma}{\Sigma}\right)$$

et enfin

$$z = G + \frac{e^{-\Sigma' t}}{2}\left[\left(\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} + G\frac{\Sigma' - \Sigma}{\Sigma}\right)e^{-\Sigma t} + \left(\frac{\varepsilon}{2\mathfrak{C}} + G\frac{\Sigma' + \Sigma}{\Sigma}\right)e^{+\Sigma t}\right]. \qquad (K')$$

2. Oscillations de groupes couplés a régulateurs directs. — On discutera facilement cette équation, à laquelle correspond évidemment, tout étant symétrique, une équation en z'.

On examinera deux cas particuliers intéressants en pratique :

1° Celui où $\mathfrak{C} \neq \mathfrak{C}'$ mais avec $E'_i = E_i$; c'est celui de deux groupes avec régulateurs à action directe établis pour marcher en parallèle avec la meilleure répartition des charges dans tous les cas, mais de constitution différente ; par exemple, $\mathfrak{C} = 12,5$ pour l'un (groupe avec moteur à gaz) et $\mathfrak{C}' = 2$ pour l'autre (groupe à turbine à vapeur) ;

2° Le deuxième cas, également intéressant à considérer, de groupes auxquels correspondent des valeurs égales de $\mathfrak{C}$, c'est-à-dire de même constitution, mais pour lesquels E_i serait très différent de E'_i, soit par suite d'un déréglage du régulateur, soit pour des raisons autres, un groupe devant marcher à charge constante ou presque et l'autre faisant l'appoint. Il faut en effet remarquer que notre étude ne suppose pas que les couples moyens de moteurs soient les mêmes, si les vitesses le sont.

Un groupe peut donc être de puissance très différente de celle de l'autre

Les formules se simplifient beaucoup dans les deux hypothèses qui précèdent. Enfin, si l'on suppose $\mathfrak{C} = \mathfrak{C}'$, $E_i = E'_i$,

on retombe à titre de vérification sur le cas de deux groupes rigoureusement identiques.

L'élément en Δ doit disparaître des lois $z = f(l)$ et $z' = f'(l)$; c'est bien ce que l'on constate, les formules se simplifiant alors à l'extrême et donnant

$$z = z' = \varepsilon E_i \left(1 - e^{-\frac{t}{2\mathfrak{C}E_i}}\right)$$

avec $\mathfrak{C} = \mathfrak{C}'$ et $E_i = E'_i$; ce qui entraîne, puisque

$$\frac{\varepsilon'}{E'_i} = \frac{\varepsilon}{E_i}$$

la conséquence $\varepsilon = \varepsilon'$.

L. B.

Revues, analyses et informations

Connaissances actuelles relatives à l'action des ondes à front raide sur les réseaux électriques (1).

1. Généralités. — L'auteur s'est proposé d'indiquer la manière dont les installations électriques à haute tension se comportent vis-à-vis des ondes à front raide. Il a été amené, par suite, à exposer les relations qui existent entre les caractéristiques de ces installations et la production des ondes et à examiner les effets que celles-ci produisent sur les réseaux.

Les travaux publiés sur cette question sont assez nombreux, principalement aux Etats-Unis où les recherches se poursuivent sans arrêt aussi bien en laboratoire que sur les réseaux en exploitation, en utilisant principalement, dans ce dernier cas, le klydonographe. On s'occupe actuellement, dans ce pays, des moyens propres à élever la tension disponible pour les essais. C'est ainsi qu'après avoir atteint 1 million, puis 5 millions de volts, F.-W. Peek, serait bientôt en mesure de réaliser des expériences avec une tension atteignant 8 millions de volts.

La mise sous tension d'une ligne, son contact plus ou moins direct avec la terre et d'autres incidents analogues produisent des ondes mobiles qui ont été étudiées par Lombardi, en 1919, au moyen d'une ligne artificielle et qui ont fait, depuis, l'objet de nombreux travaux avec l'oscillographe cathodique comme moyen d'investigation.

Mais la théorie et la pratique démontrent que si dangereux que soient tous ces phénomènes électriques anormaux, surtout pour les machines, ils ne le sont pas autant que les perturbations produites par les décharges atmosphériques. Chaque fois, en effet, qu'une ligne se trouve soumise à l'action du champ électrique d'un nuage, elle se charge par induction et, à toute modification brusque de ce champ électrique (coups de foudre plus ou moins lointains) correspondent un déplacement de la charge électrique accumulée et la création d'ondes à front raide particulièrement dangereuses pour les points faibles de la ligne.

2. Effet des ondes a front raide sur les isolants et sur les conducteurs. — L'auteur rappelle que, si on élève graduellement la tension appliquée à un diélectrique, on arrive à produire la perforation à une tension beaucoup plus faible que si celle-ci était appliquée brusquement, et il explique le phénomène du retard à la décharge constaté dans le fonctionnement des éclateurs.

Il signale également les phénomènes constatés sur les corps qui sont considérés comme conducteurs aux fréquences industrielles. L'eau, par exemple, donne lieu, à la fréquence de 500 000 p : s, à des étincelles de même aspect que celles qui se produisent au sein d'une huile isolante.

3. Méthodes d'investigation. — 1° *Générateurs d'ondes à front raide.* — Dans les premiers travaux de Peek, les ondes à front raide étaient produites par un circuit oscillant comportant une forte résistance en série. La tension était mesurée indirectement, avec un éclateur et il était impossible, alors, de contrôler la forme de l'onde. Avec ce dispositif, on produisit des ondes dont la pente était de 5 kv : μs, valeur bien éloignée de celle des décharges atmosphériques qui atteignent 10 000 kv : μs. Avec le générateur à 8000 kv dont la mise au point sera prochainement réalisée, on pense pouvoir arriver à 7000 ou 8 000 kv : μs. Peek utiliserait pour arriver à ce résultat un groupe de condensateurs montés en parallèle pour la charge sous la tension maximum que peut fournir un transformateur à haute tension, et disposés en série pour la décharge.

Il y a quelques mois, on a annoncé l'utilisation, aux Etats-Unis, d'un générateur transportable d'ondes à front raide, composé d'un transformateur donnant 1 000 kv et d'une batterie de condensateurs chargée en parallèle et déchargée en série. Cet appareil pourrait fournir deux sortes d'ondes ; l'une atteignant la tension maximum en une demi-microseconde et l'autre atteignant cette valeur en 6 microsecondes. C'est avec le deuxième type d'ondes, qui se rapproche le plus de celles que l'on rencontre dans la pratique, que seraient exécutées la plupart des expériences.

2° *Enregistrement des ondes à front raide.* — Ainsi qu'il a été dit plus haut, un progrès sensible a été réalisé dans l'étude des ondes à front raide par l'utilisation de l'oscillographe à rayons cathodiques. Cet appareil est le seul qui puisse suivre des phénomènes aussi rapides. Une difficulté subsiste cependant encore dans son emploi ; elle est due à l'impossibilité de le mettre en action exactement au moment où le phénomène à enregistrer se produit.

Des essais de mise en action automatique ont été faits par Gabor, en Allemagne, et par G.-F. Harington. Il est probable que ce problème sera résolu d'une façon satisfaisante, mais la mise au point d'un dispositif convenable exigera vraisemblablement encore beaucoup de temps. Il faut signaler toutefois que l'artifice de Norinder, qui consiste à placer un petit écran sur le trajet des rayons cathodiques de façon à éviter la tache qui se produit au zéro sur la pellicule d'enregistrement par le long stationnement des rayons en ce point, paraît donner en pratique de bons résultats ; il a été largement utilisé, aux Etats-Unis, par Atherton, Cox et Fortescue.

Un autre appareil fort utilisé pour les recherches qui font l'objet de cet article est le klydonographe, appareil beaucoup plus simple que l'oscillographe cathodique et dont l'emploi est, par suite, beaucoup plus répandu. Les indications qu'il donne sont précieuses du fait qu'il permet de déterminer le sens de la décharge et, dans une certaine mesure, la tension maximum à laquelle elle correspond ;

(1) G. Bourelly. *L'Elettrotecnica*, 5 mai 1930, t. XVII, p. 297-307. 7 500 mots, 22 figures.

cependant, sa précision est bien inférieure à celle de l'oscillographe cathodique. Lee et Foust, qui ont fait une étude comparative de ces deux appareils, sont arrivés à la conclusion que le klydonographe donnait des résultats avec une approximation de 25 pour 100 environ. D'autres auteurs comme Eachron, Cox et Legg, et enfin, McAuley et L.-C. Huggins sont arrivés à une conclusion analogue.

3° *Quelques résultats.* — Dans l'un de ses mémoires, Peek attribue au coup de foudre les caractéristiques suivantes : une tension de l'ordre de 100 millions de volts et une puissance de 1000 billions de chevaux. Comme le temps de décharge est extrêmement faible, 1 à 10 microsecondes seulement, il résulte que l'énergie mise en jeu est seulement de 4 kw-h, chiffre qui paraît anormal, à première vue, à côté des précédents. Ces valeurs ont d'ailleurs été critiquées par d'autres techniciens et en particulier par Cox et Fortescue.

Les expériences les plus nombreuses, ayant donné le plus grand nombre de résultats pratiques, sont dues à Norinder. Elles datent de 1921 et conservent encore aujourd'hui toute leur valeur. Norinder a trouvé que les décharges atmosphériques sont unidirectionnelles, tout au moins apériodiques, et sont très rarement oscillantes. Le temps de décharge peut être assez long, jusqu'à 1 200 microsecondes; il serait d'ailleurs très variable, les décharges les plus brèves étant de 5 à 10 microsecondes. Ces conclusions, on le voit, ne sont pas en plein accord avec celles de Peek.

Des observations très intéressantes ont été faites par Norinder sur l'existence d'une décharge préliminaire qui, produisant une certaine ionisation de l'air, permet le passage de la décharge principale.

Il est intéressant de faire remarquer, enfin, que le plus grand nombre des observations de Norinder se rapportent à des décharges entre nuages et non entre nuages et terre.

4° *Propagation et amortissement des ondes à front raide.* — L'auteur rappelle les expériences effectuées à ce sujet par Peek, en 1923-1924, et résume les résultats auxquels elles ont conduit : 1° quand la ligne sur laquelle arrive une onde à front raide est en court-circuit à l'arrivée, le front d'onde devient moins rapide et la tension de crête diminue ; 2° quand la ligne est ouverte à son autre extrémité, le front d'onde devient plus rapide ; 3° l'insertion d'une résistance modifie la forme de l'onde et atténue la tension de crête ; 4° l'insertion d'une inductance a pour effet de rendre extrêmement rapide le front de l'onde ; 5° un condensateur placé à l'extrémité de la ligne abaisse fortement la valeur de la tension de crête.

Ces résultats obtenus sur une ligne d'essais, de courte longueur, ont été confirmés sur des lignes réelles, par les expériences de Lewis et celles de Ph. Sporn.

Sur l'effet du phénomène de couronne, Eachron et Godwin, Peek et quelques autres auteurs sont d'accord pour admettre qu'il doit accroître l'amortissement de l'onde, mais ils ne sont plus d'accord sur les résultats réels.

Il semble résulter de ces différentes recherches qu'il n'y a pas lieu d'isoler également toutes les parties d'une ligne, mais qu'au contraire, il existe des points qui sont plus particulièrement soumis à des contraintes élevées et qui, par conséquent, doivent recevoir une protection complémentaire.

4. Protection des différentes parties d'un réseau. — D'après Peek, la protection la plus faible est donnée par trois fils de lignes placés en nappe verticale avec un quatrième fil, constituant le fil de terre, placé au-dessus ; la meilleure solution serait réalisée par les trois fils en nappe horizontale et trois fils de terre en triangle équilatéral, dont deux au-dessus des fils de ligne et un au-dessous. L'utilité du fil de terre et l'avantage d'en utiliser plusieurs paraissent démontrés, également, par d'autres travaux, notamment par ceux de Sporn sur une ligne à 132 kv, aux Etats-Unis.

Une bonne pratique de protection consiste à réduire, sur une portion de 500 à 1000 m à partir d'une station, l'isolement général de la ligne. Enfin, il semble que la protection par réseau métallique des sous-stations du type extérieur donne de très bons résultats, cependant l'expérience que l'on a sur cette pratique n'est pas encore suffisante pour qu'on puisse se prononcer.

L'auteur examine ensuite la question des isolateurs des lignes. Il insiste en particulier sur l'intérêt des anneaux de garde qui ont pour but d'empêcher l'arc de détériorer les éléments d'une chaîne d'isolateurs et, en même temps, d'améliorer la répartition de la tension sur chaque isolateur de la chaîne. Torok et Ramberg, qui ont fait des expériences méthodiques sur des chaînes comportant un nombre variable d'éléments, ont montré que ce résultat pouvait être obtenu d'une façon à peu près certaine. Pour la réalisation de ces dispositifs, l'emploi du fer est préférable à l'aluminium qui charge moins les supports, mais fond plus facilement.

L'emploi de cornes de protection peut être avantageux au point de vue de la répartition de la tension en régime statique ; mais il offre des inconvénients pendant les décharges à front raide en raison du retard de l'éclatement de l'étincelle. Enfin, l'extrémité des cornes produit souvent par effluve une ionisation de l'air qui facilite toujours l'amorçage des arcs.

Un procédé mixte, qui consiste à placer un anneau de garde à la partie inférieure des chaînes et des cornes à la partie supérieure a été adopté par l'American Gas and electric Co sur des lignes à 132 kv : il semble avoir donné d'aussi bons résultats que le dispositif à double anneau de garde.

Une question connexe, qui a été étudiée récemment, est celle de la gradation de l'isolement de la ligne, des isolateurs de traversée et des transformateurs, car il est évident qu'en cas de décharge il est préférable que celle-ci se produise sur une chaîne d'isolateurs ou sur une borne de traversée plutôt que dans un transformateur où les dégâts produits sont beaucoup plus importants. Mais cette graduation de l'isolement est un problème assez complexe et délicat à résoudre en pratique.

L'auteur termine en examinant l'effet des surtensions brusques dans les transformateurs. Il montre l'importance du renforcement de l'isolement aux extrémités du bobinage. L'étude a en effet indiqué que, lors du passage d'une onde à front raide, toute la surtension est localisée à l'extrémité de l'enroulement qui est relié à la ligne. La pratique, aux Etats-Unis, a, d'autre part, sanctionné cette méthode de protection des transformateurs et des unités de grandes puissances (20 000 kv-a) construits avec une protection particulière de cette partie de l'appareil ont été mis en service avec succès. Bien que le prix et le poids de ces transformateurs se trouvent augmentés respectivement de 40 et 70 pour 100, il est probable que cette solution, si elle continue à se montrer efficace, sera malgré tout économique, car la gravité de ces inconvénients est bien inférieure à celle des conséquences entraînées par les interruptions de service. — B. E.

Les photomètres modernes pour la mesure de l'éclairement et leur emploi (1).

1. Généralités. — Quel que soit le modèle, les photomètres portatifs comportent tous trois éléments fondamentaux ; une surface de référence qui est souvent indépendante de l'appareil, mais est dans tous les cas placée au point où on désire mesurer l'éclairement ; une surface intérieure de comparaison éclairée par une lampe contenue dans l'appareil et dont l'éclairement peut varier suivant une loi déterminée en agissant sur un bouton ou une poignée extérieure auquel est liée une aiguille se déplaçant devant une graduation; un dispositif permettant à l'œil d'effectuer une comparaison rapide entre l'éclairement de la surface de référence extérieure et celui de la surface intérieure de comparaison.

En ce qui concerne la précision des mesures effectuées avec ces instruments, les facteurs qui interviennent sont la dimension et la forme des surfaces de référence et de comparaison, et la brillance de la surface de référence qui fait intervenir la sensibilité de l'œil à la perception des différences de brillance. Si on considère une courbe de la variation de cette sensibilité en fonction de l'éclairement, on constate qu'aux faibles éclairements la valeur très petite de cette sensibilité limite la précision des mesures effectuées avec ces appareils. Ce point est d'ailleurs reconnu dans la British Standard Specification relative aux photomètres portatifs, laquelle indique une erreur admissible de 15 pour 100 pour un éclairement de 0,1 foot-candle (soit 1,077 lux) et de 14 pour 100 pour les valeurs inférieures.

2. Description de quelques appareils. — 1° *Le « lumeter »*. — Dans cet appareil (fig. 1), la surface de référence est une plaque de verre opale mat de 89 mm × 63,5 mm. La surface intérieure de comparaison est un anneau de plâtre blanc éclairé à travers une ouverture munie d'un verre opale par une petite lampe électrique placée à l'intérieur d'une boîte cylindrique blanche entourée elle-même d'un volet mobile au moyen d'une poignée formant aiguille indicatrice. Ce volet est percé d'une ouverture de la forme indiquée dans la figure 1. On conçoit qu'en déplaçant ce volet devant l'ouverture munie du verre opale, on puisse faire varier l'éclairement de

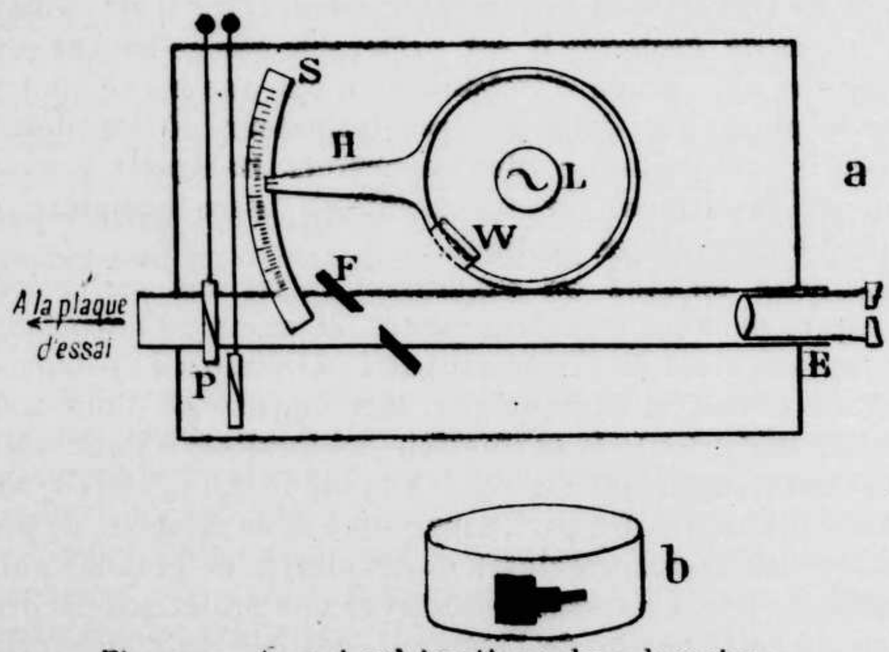


Fig. 1. — Aspect schématique du « lumeter » et forme de l'ouverture du volet.

la surface intérieure de comparaison jusqu'à l'amener à égalité de celle de la surface de référence qui est vue dans le centre de l'anneau de comparaison au moyen d'un oculaire réglable porté par l'appareil. L'échelle devant laquelle se déplace l'aiguille liée au volet est graduée directement en unités d'éclairement. Cette échelle est partagée en trois sections correspondant aux trois largeurs de l'ouverture du volet, et dans chaque section la graduation est très sensiblement linéaire. Le réglage de l'appareil s'effectue en déplaçant la lampe intérieure. Celle-ci consomme 2 w sous une tension de 3,7 v. Normalement cet appareil permet d'effectuer des mesures de 0 à 2 foot-candle (1). Pour pouvoir étendre son champ de mesures, on utilise des filtres neutres placés au delà de l'anneau de comparaison par rapport à l'oculaire. Ces filtres sont formés d'une paire de petits coins en verre neutre (gris) à angle aigu, réunis entre eux de manière à ne laisser passer qu'un dixième ou un centième de la quantité de lumière qu'ils reçoivent. Dans ces conditions, l'appareil étant étalonné avec le filtre au dixième se trouve normalement gradué de 0 à 20 foot-candles. Si on retire le filtre, on obtient en divisant les lectures par 10 une graduation de 0 à 2 foot-candles permettant des mesures plus précises. Si on met en place, au contraire, le filtre au centième, il faut alors multiplier les lectures par 100 et l'appareil permet des mesures d'éclairement de 0 à 2 000 foot-candles.

2° « *Le luxomètre* ». — Dans cet appareil, on fait varier l'éclairement de la surface intérieure de comparaison en modifiant l'angle d'incidence de la lumière émise par la lampe intérieure. Cette lumière lui est renvoyée par un petit miroir formé d'une feuille de celluloïd blanc mat, dont l'inclinaison est commandée par une came de profil tel que la graduation de l'aiguille qui lui est liée puisse être régulière. La surface intérieure de comparaison est formée d'une plaque de verre argentée sur la moitié supérieure de sa surface. Un oculaire permet d'observer cette plaque et la surface externe de référence à travers sa moitié inférieure. Le réglage s'effectue par déplacement de la lampe intérieure au moyen d'une tige filetée. Enfin, un disque placé au delà de la surface interne de comparaison, percé de quatre trous circulaires dont trois portent des filtres neutres en gélatine ayant des facteurs de transmission de 0,1 — 0,01 — 0,001, permet d'élargir le champ de mesure de l'instrument qui est gradué normalement de 0,005 à 2 foot-candles, et peut, avec ces filtres, servir à mesurer des éclairements atteignant 2 000 foot-candles.

3° « *Le lightmeter* ». — Cet appareil est basé sur le principe de la tache d'huile de Bunsen. La surface extérieure de référence et celle intérieure sont deux parties d'une même surface éclairée d'un côté par une petite lampe fixée sur une coulisse dont une partie graduée permet les lectures à travers une fenêtre de l'appareil munie d'un repère. La surface combinée de référence et de comparaison est recouverte d'une mince feuille de verre et on doit l'observer sous un angle tel que n'apparaisse l'image d'aucune des deux sources lumineuses. Cet appareil ne nécessitant pas l'observation au moyen d'un oculaire est particulièrement pratique pour l'exécution des démonstrations. Il permet normalement d'effectuer des mesures d'éclairement de 1 à 30 foot-candles. Pour des valeurs plus faibles, on règle l'intensité du courant dans la lampe intérieure au moyen d'un rhéostat de façon à réduire sa puissance lumineuse au dixième ou au centième de sa valeur normale.

3. La surface de référence. — C'est une des parties les plus importantes d'un photomètre portatif. Elle doit être telle que son éclat soit presque proportionnel à l'éclairement

(1) J.-W.-T. Walsh. *World Power*, février 1930, t. XIII, p. 134-139, 4300 mots, 5 figures.

(1) Rappelons que 1 foot-candle est l'éclairement égal à 1,077 millilphot, soit 10,77 lux.

jusqu'à une grande valeur de l'angle d'incidence. Une surface idéale serait celle qui suivrait la loi de Lambert sur la diffusion. Mais aucune substance n'obéit exactement à cette loi; aussi en l'absence de toute indication spéciale, il est recommandé d'observer la surface de référence sous un angle de 30° avec la normale. Il est beaucoup plus difficile d'éviter, dans certains cas, une incidence trop grande des rayons issus de la source lumineuse Aussi la British Standard Specification relative à l'éclairage des rues stipule que quand l'éclairement horizontal est de moins de 0,05 foot-candle ou lorsque la direction des rayons lumineux venant de la source principale de lumière fait avec la normale à la surface de référence un angle de plus de 75°, la mesure doit être effectuée en plaçant cette dernière normalement à la direction des rayons lumineux. On déduit l'éclairement sur la surface horizontale de celui ainsi mesuré en multipliant le chiffre trouvé par le cosinus de l'angle fait par les rayons lumineux avec la verticale. Pour faciliter ces mesures, l'Holophane Lumeter a établi une surface de référence montée sur pied avec niveau d'eau et rapporteur d'angle. Quant à la surface elle-même, elle est généralement constituée par du celluloïd blanc opaque rendu mat par sablage ou par du verre opale dépoli sur sa surface supérieure.

4. Étalonnage. — Tous les appareils décrits précédemment possèdent un dispositif permettant le réglage de la constante d'étalonnage, généralement par déplacement de la lampe intérieure. Ceci est nécessaire en vue des remplacements de lampes, et également du fait que les petites lampes à basse tension employées ont une intensité lumineuse qui décroît vite avec la durée d'emploi. Il faut donc procéder assez souvent à un réétalonnage au banc photométrique au moyen d'une lampe étalon d'intensité lumineuse donnée et de la surface de référence. On place celle-ci à une distance telle que son éclairement calculé d'après la loi du carré de la distance ait une valeur convenable par rapport à la graduation de l'appareil à régler. On amène sur l'échelle de cet appareil l'aiguille indicatrice en face du trait correspondant à cette valeur et si l'équilibre d'éclairement des deux surfaces n'est pas alors réalisé on l'obtient en agissant sur le dispositif de correction. Cette vérification doit être faite pour deux ou trois points de la graduation. Pendant ces opérations il faut que la surface de référence soit éclairée normalement par la lampe étalon et observée sous un angle de 30° (ou toute autre valeur spécifiée avec l'appareil) avec la normale. Enfin, pour éviter l'effet de toute lumière étrangère, il faut disposer des écrans noirs entre la lampe et la surface de référence.

5. Précautions a observer dans les mesures. — Le choix du point auquel doivent être faites les mesures est généralement dicté par les circonstances spéciales à chaque cas. Cependant, dans les mesures relatives à l'éclairage public, il est prescrit que la surface de référence ne sera pas à plus de 0,30 m au-dessus du sol. Pour des mesures dans une salle, relatives à l'éclairement sur le plan de travail, la hauteur recommandée par la Commission internationale de l'Eclairage est de 0,85 m. L'observateur doit prendre soin, d'autre part, de ne pas intercepter sur la surface de référence de lumière venant d'une source quelconque, et il est recommandé dans ce sens de ne pas se placer à moins de 0,375 m de cette surface pour effectuer les mesures. D'autre part, en raison de la nature de la couleur de la lumière émise par les différentes sources et pour éviter les difficultés de la photométrie hétérochromatique, on interpose couramment un filtre bleuâtre entre la surface de comparaison et la lampe intérieure dont la lumière est généralement moins blanche que celle des sources extérieures; la teinte de ce filtre est en général telle que la lumière qui l'a traversé est semblable à celle émise par une lampe à incandescence à atmosphère gazeuse. Dans le cas de mesures faites à la lumière du jour, naturelle ou artificielle, on place généralement un filtre jaunâtre entre les surfaces de référence et de comparaison. Il faut connaître le facteur de transmission de ce filtre, car la lecture sur la graduation de l'appareil doit être multipliée par l'inverse de ce facteur pour obtenir l'éclairement vrai.

6. Réglage électrique. — Il est évident que la précision des mesures effectuées avec ces photomètres portatifs dépend en grande partie de la constance de la puissance lumineuse de la lampe intérieure de l'appareil. Or, pour des raisons d'encombrement et de poids de la batterie d'accumulateurs d'alimentation, on est conduit à utiliser des lampes à basse tension dont l'intensité lumineuse varie très rapidement avec la tension aux bornes. Aussi tout photomètre portatif doit comporter un ampèremètre précis, ou, de préférence, un voltmètre relié directement par deux fils séparés au culot même de la lampe. Il est généralement prévu un petit rhéostat à contact glissant pour régler l'intensité du courant qui traverse la lampe, c'est-à-dire la tension aux bornes. Dans certains appareils, il est prévu un interrupteur à poussoir dans le circuit de la lampe de façon qu'elle ne soit allumée qu'au moment de la lecture. Cet interrupteur doit avoir un contact frottant avec arrêt de fin de course.

7. Mesure de la brillance et du facteur de réflexion. — Ces photomètres peuvent servir à mesurer la brillance d'une surface à condition de connaître le facteur de réflexion ρ de la surface de référence. On substitue dans la mesure la surface dont on veut connaître la brillance à la surface de référence et on multiplie le résultat de la lecture par $\frac{\rho}{\pi}$, ce qui donne la brillance en bougies par pied carré. Pour mesurer le facteur de réflexion d'une surface, on effectue la mesure de l'éclairement successivement avec cette surface, puis avec la surface de référence. Si R_1 et R_2 sont les lectures correspondantes, le facteur cherché est $\rho \frac{R_1}{R_2}$. — J. S.

L'emploi de barres générales de protection au poste de sectionnement de Brunot Island de la Duquesne Light Company (1).

1. Introduction. — Le poste de sectionnement de Brunot Island constitue le centre de coupure à 12 kv le plus important de tout le réseau de la Duquesne Light Co, à Pittsburgh. Cette ville et ses environs sont actuellement desservis en énergie électrique par deux usines principales; celle de Colfax, de 280 000 kw et celle de Brunot Island, d'une puissance totale de 110 000 kw. Au voisinage de cette dernière une nouvelle usine a été établie, qui contient seulement un groupe générateur à turbine de 60 000 kw mais dont la construction a été prévue pour d'importantes extensions.

A l'heure actuelle, l'énergie électrique produite est distribuée en partant du poste de coupure, au moyen de câbles

(1) R.-M. Stanley et F.-C. Hornibrook. *Journal of the American Institute of electrical Engineers*, avril 1930, t. XLIX, p. 306-310, 2 500 mots, 6 figures.

souterrains à 12 kv traversant l'Ohio et aboutissant à divers centres de transformation ; la moitié environ de la puissance totale est distribuée dans un cercle de 4 miles (6,4 km) autour de ce poste.

2. Description sommaire du poste de coupure. — Le bâtiment est construit en ciment armé; il mesure 225 pieds (68 m) de long, 40 de large (12 m) et 90 de haut (27 m) et comporte cinq étages dont chacun des trois derniers est affecté à une phase. Les appareils sont installés dans des cellules séparées complètement fermées de manière à réduire au minimumles conséquences d'un accident éventuel.

Dans le but d'augmenter l'isolement, ces trois derniers étages sont isolés les uns des autres et du sol par une couche de dalles isolantes réunies par de la matière isolante en place de mortier. D'autre part, les fers du ciment armé ne sont pas continus et des joints isolants réunissent à chaque plancher les murs et colonnes des étages successifs.

Des divisions transversales partagent le bâtiment en six sections dans le sens vertical, correspondant à six sections pour les barres générales.

Le chauffage, l'éclairage et la ventilation ont fait l'objet de soins particuliers. Les circuits à basse tension, notamment, ne croisent aucun des circuits de protection afin d'éviter toute communication accidentelle d'une phase à une autre.

3. Barres générales de protection. — Pour la protection de l'installation contre les ruptures d'isolateurs à 12 kv, on a utilisé le système des barres générales supplémentaires.

A cet effet, pour chacune des sections isolées du bâtiment on a installé un circuit isolé dit « de défaut ». Ce circuit est composé de barres de 2 inches $\times$ 0,25 inches (50 mm $\times$ 6,2 mm) de section placées parallèlement, et à assez faible distance, aux barres sous tension et réunies par câble à toutes les parties métalliques non sous tension des divers appareils.

Les barres de chaque phase de ce circuit de protection aboutissent à un transformateur spécial dont le point neutre est relié à la terre.

Actuellement, quelques circuits à haute tension qui ne paraissent pas particulièrement menacés n'ont pas été doublés par les barres de protection, mais l'extension de ces dernières a été étudiée entièrement afin de pouvoir être effectuée en tous les points où cette disposition serait reconnue ultérieurement nécessaire.

Lorsqu'un amorçage d'arc survient en un point quelconque, le courant dérivé passe forcément par la barre de protection voisine et arrive ainsi au transformateur de mise à la terre; les courants induits alors dans les enroulements secondaires de ce dernier provoquent le fonctionnement des relais de protection et, par conséquent, l'ouverture des disjoncteurs et l'isolement de la section endommagée.

La résistance entre les barres de protection et le sol n'est pas très élevée, elle doit cependant, en raison de la présence du transformateur, être de quelques ohms. Des mesures ont permis de constater qu'elle était comprise entre 6 et 25 ohms. La résistance entre deux phases d'un même circuit de protection a été trouvée comprise entre 9,5 et 30,5 ohms. Dans de nombreux cas, les mesures ont donné une résistance nulle; on a reconnu qu'il existait alors un courant de circulation dû à un défaut de ce circuit et la valeur de la résistance est revenue à celle indiquée ci dessus après qu'on eût découvert et remédié à ce défaut.

4. Essais de l'installation de protection. — Une première série d'essais ont été effectués en limitant le courant à 400 A, en plaçant une résistance de 16 ohms sur la connexion de terre. De plus, tous les circuits reliés normalement à celui étudié ont été complètement séparés du reste de la station et du réseau. Le défaut était créé par la fermeture d'un interrupteur.

Ces essais ont été exécutés sur chacune des trois phases des douze circuits du poste. Ils ont chaque fois provoqué un fonctionnement impeccable des relais de protection. Le temps maximum relevé pendant ces expériences pour la coupure de l'arc « de défaut » par les plus gros disjoncteurs a été de 21 p : s.

Comme il était impossible de déterminer exactement si dans certains cas le courant passant dans les barres de protection était dû à une perte entre les sections isolées du bâtiment ou à un phénomène d'induction entre ces barres et celles à 12 kv, ce qui aurait pu entraîner un fonctionnement anormal des relais, on procéda à une série d'essais avec un courant de terre plus élevé que celui qui était limité par la résistance de terre des circuits à 12 kv. A cet effet, on a provoqué volontairement des défauts sur le circuit à 12 kv à des sous-stations éloignées du poste de coupure; la tension fut donc abaissée au quart de sa valeur normale de manière à permettre le passage d'un courant d'une intensité de 1 400 A. Dans ces conditions, aucun mauvais fonctionnement ne fut constaté, ce qui semble montrer que les phénomènes d'induction ne sont pas à redouter dans une telle installation de protection.

Entre la période qui correspond à ces essais et l'époque où l'installation fut définitivement mise en service (3 mai 1929), il s'écoula un certain temps pendant lequel des observations minutieuses furent effectuées tous les jours sans qu'on puisse relever de cause de fonctionnement anormal.

On a pu constater, depuis, un cas de fonctionnement accidentel provoqué par un ouvrier qui, en nettoyant les barres de protection, a provoqué un contact avec les barres sous tension. La mise hors circuit de celles-ci a été si rapide que l'ouvrier n'a éprouvé, en cet accident, que des brûlures sans gravité.

5. Conclusions. — Bien qu'on ne puisse pas encore se prononcer définitivement sur la valeur d'un dispositif dont l'application est encore récente, il semble démontré que l'utilisation des barres de protection doive provoquer très rapidement l'isolement des sections avariées et éviter la mise hors service des machines sur lesquelles sont branchées ces sections.

Au point de vue économique, il apparaît certain que l'arrangement des bâtiments qui a été décrit plus haut, correspond à des dépenses plus élevées que la disposition adoptée ordinairement dans ce genre d'installation. Par contre, l'installation des barres de protection correspond à un supplément relativement faible vis-à-vis du coût total du poste.

L'auteur estime qu'en définitive, ce système de protection est moins onéreux que les autres et qu'il est probablement plus efficace. — B. E.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Assemblées générales

Société d'Electricité de Caen.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 27 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 15 millions de francs, dont le siège social est à Caen, 35, boulevard Bertrand, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'énergie nécessaire a été fournie par l'Union électrique de l'Ouest, dont les nouvelles installations ont fonctionné d'une manière satisfaisante et dans les conditions économiques qui avaient été prévues.

Cette société, en raison de la progression constante des besoins d'énergie de ses clients a passé à l'exécution d'une nouvelle étape d'extension de son usine génératrice. Elle disposera pour le printemps prochain d'un nouveau groupe turboalternateur de 12 000 kw et des chaudières correspondantes, ce qui portera à 33 000 kw la puissance installée.

L'accroissement des moyens de production de l'usine génératrice renforcera encore la sécurité de l'exploitation de la Société d'Electricité de Caen et procurera à celle-ci les moyens d'atteindre de nouveaux débouchés.

Les réseaux de transmission d'énergie et de distribution de la société dont nous nous occupons accusent un nouveau développement par suite des travaux entrepris pour assurer l'électrification de sa zone d'action. L'ensemble de ces travaux a entraîné une augmentation de 4 104 408,29 fr des comptes de premier établissement.

L'accroissement de longueur des canalisations s'élève à 126 km, savoir 66 km en haute tension et 60 km en basse tension.

L'ensemble des lignes appartenant à la société, et en service, atteignait ainsi, au 31 décembre 1929, une longueur de 1 630 km contre 1 504 km dans l'exercice précédent.

Elle a acquis, au cours de l'exercice, 21 nouvelles concessions portant à 213 le nombre de ses concessions au 31 décembre 1929; le nombre de communes desservies à cette date était de 204 par suite de la mise en service de 14 communes au cours de l'exercice. Il restait donc, à la fin de l'exercice 9 concessions acquises à mettre en service.

La société alimente, en outre, par l'intermédiaire de sept concessionnaires, 193 communes, de sorte qu'elle desservait au 31 décembre 1929, directement ou indirectement, 397 communes avec une population de 270 000 habitants.

Au cours de l'exercice, elle a obtenu les concessions des syndicats agricoles suivants : Syndicat de Noyers (4 communes), Syndicat de Cléville (4 communes), Syndicat de Juaye Mondaye (5 communes).

Le montant des recettes au cours de l'exercice s'est élevé à 17 760 012,82 fr, contre 15 101 087,45 fr, pour l'exercice précédent, soit une augmentation de 2 millions 658 925,37 fr (1).

Le produit d'exploitation de l'exercice atteint 6 millions 395 822,87 fr, en augmentation de 997 850,82 fr sur celui de l'exercice précédent qui était de 5 397 972,05 fr.

Le compte de profits et pertes de cet exercice supporte une perte de 950 041 fr par suite des paiements des coupons et du remboursement des obligations que la société a dû effectuer en Suisse en francs suisses.

Au crédit figurent : les produits d'exploitation, 6 millions 395 822,87 fr; le revenu du portefeuille, 525 769,35 fr.

Au débit figurent :

Les frais généraux d'administration, 259 288,90 fr; le service des obligations et impôts, 356 011,10 fr; les intérêts et divers, 50 742,81 fr; le change, 950 041 fr; le fonds d'amortissement, 1 000 000 fr.

Le solde disponible du compte de profits et pertes de l'exercice ressort ainsi à 4 305 508,41 fr contre 3 349 561,50 fr pour l'année précédente, en augmentation de 955 946,91 fr.

Sur le bénéfice il y a lieu de prélever, tout d'abord, 5 pour 100 pour la réserve légale, soit 215 275,41 fr.

La réserve extraordinaire est dotée de 1 400 000 fr et il est réparti aux actions un premier dividende de 6 pour 100, soit 900 000 fr.

Sur le solde, 15 pour 100 reviennent au Conseil, soit 268 534,95 fr.

Il reste 1 521 698,05 fr auxquels s'ajoute le report précédent, 506 882,30 fr, ce qui donne un total de 2 028 580,35 fr.

Il est réparti un dividende supplémentaire de 9 pour 100 à toutes les actions, soit 1 350 000 fr et une somme de 678 580,35 fr est reportée à nouveau.

Le dividende brut de 15 fr est mis en paiement à partir du 30 juin 1930, après déduction des impôts, contre remise du coupon n° 32, à raison de : actions nominatives, 13,16 fr ; actions au porteur, 9,68 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Apports	1 »
Frais d'augmentation de capital	1 »
Frais d'émission des obligations	1 »
Primes de remboursement des obligations	197 280 »
Immeubles	250 000 »
Canalisations et réseaux	30 793 349,71
Chute de l'Orne	1 »
Compteurs	1 407 967,82
Mobilier, automobiles et outillage	3 »
Portefeuille	5 514 094,20
Marchandises en magasin	1 005 582,83
Cautionnements	23 380 »
Caisses et banques	1 813 418,83
Abonnés et débiteurs divers	5 303 961,62
Impôts à recouvrer	514 499,80
Paiements à la commande et travaux en cours	154 134,50
	46 977 676,31

Passif.

	fr
Capital	15 000 000 »
Obligations de 500 fr 4 pour 100 en circulation	136 000 »
A reporter	15 136 000 »

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 30 novembre 1929, t. XXVI, p. 895.

Report.....	151 360,00
Obligations de 500 fr, 5 pour 100, en circulation.	2 191 000 »
Réserve légale.....	835 917,83
Fonds d'amortissement.....	8 029 032,07
Fonds de renouvellement du matériel.....	3 348 549,20
Réserve extraordinaire.....	1 600 000 »
Cautionnements des abonnés.....	1 405 329,60
Fournisseurs, créanciers divers et effets à payer.	9 452 088,46
Coupons actions.....	66 096,84
Coupons obligations et obligations à rembourser.	100 271,60
Profits et pertes reportés.....	506 882,30
Bénéfice de l'exercice 1929.....	4 305 508,41
	46 977 676,31

Société hydroélectrique de Fure et Morge et de Vizille.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 24 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 9 millions de francs et dont le siège social est à Grenoble, 27, rue de Turenne, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'année 1929 s'est signalée par un été particulièrement sec, qui a réduit notablement les étiages d'été des différents torrents à régime non glaciaire. Il en est résulté, pour la société, la nécessité de produire de l'énergie thermique pendant une partie importante de l'été, et d'en acheter à des tiers dans des proportions beaucoup plus considérables qu'en année normale. Comme d'autre part, par suite des froids très rigoureux qui ont sévi au début de 1929, la conduite qui alimente l'usine de Champ a été remplie sur toute sa longueur par un mélange de neige et de glace dont l'enlèvement a demandé un mois, immobilisant pendant cette période, l'usine de Champ; il en résulte que les bénéfices de l'exercice 1929 ont été inférieurs à ceux de l'exercice précédent.

Par contre, la saison d'hiver 1929-1930 a été tempérée, et le régime des eaux d'hiver a été plus abondant qu'en année normale; l'exercice 1930 se présente donc, à ce point de vue, sous un aspect favorable. Malgré la crise qui s'est fait sentir dans quelques industries, les demandes d'énergie pour la force motrice et la lumière sont toujours importantes.

Les chantiers de construction du barrage du Chambon-Romanche sont en pleine activité, utilisant un matériel très perfectionné.

Les travaux préliminaires du barrage du Sautet, sur le Drac, sont en bonne voie; les sondages auraient donné toute satisfaction. Lorsque ces deux barrages seront terminés, les régimes du Drac et de la Romanche seront évidemment améliorés.

En 1928, la société dont nous nous occupons a pris une participation importante dans la société hydroélectrique du Drac inférieur. Les travaux d'aménagement de cette chute sont activement poussés, et ne paraissent pas devoir rencontrer de sérieuses difficultés.

Le compte de profits et pertes se présente comme il suit :

Les dépenses comprennent : frais généraux, d'exploitation et d'entretien, 4 097 858,85 fr; achat de courant à des tiers, 3 570 500,80 fr; impôts et redevances, 1 410 859,91 fr; charges financières, 1 579 961,25 fr; produits de l'exercice 1929, 1 764 216,80 fr.

Le total des dépenses s'élève donc à 12 423 397,61 fr;

Les recettes se décomposent comme il suit : vente de force motrice, 9 370 799,63 fr; vente de lumière, 2 578 910 fr; recettes diverses, 452 430,65 fr; intérêts et agios, 21 257,33 fr;

Les produits bruts de l'exercice se sont élevés à 2 millions 083 216,80 fr sur lesquels une somme de 319 000 fr a été prélevée pour constituer la provision nécessaire aux remboursements d'obligations prévus au tableau d'amortissements. Il est prélevé : une somme de 6 154,55 fr pour amortir de 20 pour 100 le compte chantiers d'injections; une somme de 79 006,50 fr pour amortir de 20 pour 100 le compte petit matériel et outillage, laboratoire et mobilier; une somme de 100 000 fr pour amortir en partie le compte frais d'émission.

Il reste une somme de 1 579 055,75 fr constituant les bénéfices nets de l'exercice 1929.

Ces bénéfices sont affectés comme il suit : réserve légale 5 pour 100, soit 78 952,75 fr; intérêt de 5 pour 100 au capital, 450 000 fr; à la disposition du conseil, 52 505,15 fr; au conseil d'administration, 105 010,30 fr.

En ajoutant le report de l'exercice 1928, soit 123,170,82 fr il reste une somme de 1 015 758,37 fr.

Il est prélevé une somme de 103 446,65 fr pour porter à 3 500 000 fr la réserve spéciale et une somme de 192 311,72 fr qui est reportée à nouveau.

Le solde soit, 720 000 fr est réparti entre les parts et les actions : 25 pour 100, soit 180 000 fr, aux parts; 75 pour 100, soit 540 000 fr, aux actions.

Pour les actions, le coupon n° 28 est mis en paiement à raison de 55 fr, soit net : 46,20 fr par action nominative et 35,55 fr par action au porteur.

Quant aux parts, le coupon n° 1 est mis en paiement à raison de 10 fr, soit net 8,40 fr par part.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Fonds de commerce.....	199 640,50
Terrains et chutes, installations hydrauliques, barrages, tuyaux et protection.....	8 061 027,43
Immeubles industriels et bâtiments du siège social.....	1 992 440,28
Matériel électrique et mécanique des usines, groupe-vapeur.....	3 552 629,89
Lignes de transmission, de distribution, matériel de réseaux et sous-stations.....	15 155 272,78
Chantiers d'injections.....	30 772,89
Petit matériel et outillage, laboratoire et mobilier.....	395 032,40
Frais de constitution et de premier établissement.....	1 »
Frais d'augmentation de capital.....	1 »
Frais d'émission.....	256 577,35
Prime de remboursement des obligations.....	553 317,50
Avances aux fournisseurs et cautionnements...	211 210,65
Intérêts payés d'avance sur billets et impôts sur ces intérêts.....	341 017,07
Travaux en cours pour les communes.....	769 794,35
Impôts sur actions	302 260,97
Marchandises et charbon en approvisonnement.	2 004 919,95
Portefeuille titres.....	5 495 264,10
Clients et débiteurs divers.....	2 456 940,01
Caisse, banques et compte courant postal.....	3 655 769,62
	45 433 889,74

Passif.

	fr
Capital : 18 000 actions de 500 fr.....	9 000 000 »
Prime d'émission.	180 000 »
Réserve légale	809 608,17
Réserve spéciale.....	3 396 553,35
Provision pour amortissement (remboursement des bons décennaux).....	525 000 »
Emprunts par obligations.....	18 188 000 »
Emprunts par bons décennaux et billets à ordre.	6 561 000 »
Participations (versements non appelés).....	1 409 850 »
Dividendes actions.....	42 220,89
Coupons d'obligations.....	558 746,60
Obligations et billets à ordre à rembourser.. ..	408 537 »
Fournisseurs et créditeurs divers.....	2 466 986,11
Report à nouveau.....	123 170,82
Bénéfice de l'exercice 1929.....	1 764 216,80
	45 433 889,74

SECTION DE LÉGISLATION

Les conditions légales d'établissement des postes de radiodiffusion

La question s'est posée de savoir si, dans l'état actuel de la législation, le Gouvernement avait la possibilité légale d'autoriser la création de postes privés émetteurs. A diverses reprises, l'opinion a été soutenue que les Pouvoirs publics ne seraient habilités par la loi du 19 mars 1928 qu'à permettre l'établissement de nouveaux postes publics. Que convient-il de penser de cette assertion ?

I. **Examen des textes de lois applicables en la matière.** — Il y a lieu de rechercher d'abord quel est l'état des textes en la matière.

Nous devons considérer à cet effet : 1° l'article 85 de la loi du 30 juin 1923 ; 2° l'article 15 du décret du 28 décembre 1926 ; 3° l'article 62 de la loi du 19 mars 1928.

Le premier de ces textes déclare : « Les dispositions du décret-loi du 27 décembre 1851 relatif au monopole... des lignes télégraphiques sont applicables à l'émission des signes radioélectriques de toute nature ». Il consacre donc le monopole d'Etat pur et simple, assimilant d'une manière complète les émissions radioélectriques à l'envoi des télégrammes. Cette assimilation est, à notre avis, nettement contraire à la nature des choses et l'exposé des motifs du projet Germain-Martin en fait justice, mais nous n'avons pas en ce moment à discuter ce point.

Pour atténuer la rigueur du monopole absolu, l'article 15 du décret du 28 décembre 1926 permet « à titre transitoire » au ministre des Postes, Télégraphes et Téléphones de donner, jusqu'au 31 décembre 1927, « des autorisations d'installer... des postes destinés à compléter le réseau » défini par l'article 13 du même décret.

Cette faculté étant expirée le 31 décembre 1927, le Gouvernement a obtenu de la loi du 19 mars 1928 les pouvoirs nécessaires pour accorder des autorisations « spéciales » par décret, sans conditions de délai.

II. **Examen de la situation juridique.** — Pour apporter quelque clarté dans cet ensemble diffus, il convient d'examiner la situation juridique à quatre moments successifs : *a*) du 30 juin 1923 au 28 décembre 1926 ; *b*) du 28 décembre 1926 au 31 décembre 1927 ; *c*) du 1er janvier 1928 au 19 mars 1928 ; *d*) après le 19 mars 1928.

a) La loi de 1923 a institué en faveur de l'Etat un monopole absolu, identique à celui des émissions télégraphiques, sans qu'aucune dérogation soit susceptible d'y être apportée par l'autorité. Sous ce régime, toute installation d'un poste privé d'émission constitue une atteinte au monopole d'Etat et, par suite, un délit correctionnel ;

b) Par dérogation à ce monopole, l'article 15 du décret de 1926 permet d'accorder à des groupements privés l'autorisation d'installer et d'exploiter des postes d'émission. Cette faculté est expirée le 31 décembre 1927 ;

c) A cette date, on revient donc au monopole absolu de 1923. « Il n'y avait à compter du 31 décembre 1927 qu'un seul régime légal : le monopole absolu », a déclaré à la Chambre M. Poincaré, président du Conseil, le 13 mars 1928 (Journal officiel, du 14 mars 1928, Chambre des Députés, Débats parlementaires, p. 1427, col. 2). Toutes les installations privées effectuées depuis le 1er janvier 1928 devaient donc être nécessairement irrégulières, et le Gouvernement lui-même ne puisait plus dans la législation en vigueur le droit de les autoriser ;

d) Pour permettre de régulariser la situation des postes installés en fait, et d'en établir de nouveaux à l'avenir, est intervenu l'article 62 de la loi du 19 mars 1928, texte essentiellement provisoire, dont seules les circonstances parlementaires ont assuré la survie imprévue. Ce texte, fort complexe, vise d'abord le passé : à cet égard, il permet au Gouvernement d'autoriser par décret toutes les installations fonctionnant en fait dans des conditions irrégulières. Faute d'autorisation, ces postes devront être fermés. Pour l'avenir, il déclare en principe que la situation de fait telle qu'elle existe au moment de la promulgation de la loi devra être maintenue : « L'installation des postes nouveaux est et demeure interdite » (paragraphe 4 de l'article 62).

La préoccupation du législateur est de ne pas engager l'avenir et, pour la période provisoire qu'il envisage et qu'il considère comme devant être de très courte durée, de maintenir, en principe, le statu quo qui comporte, en fait, la coexistence d'un certain nombre de postes nationaux ou régionaux établis en vertu du monopole, et de postes privés fonctionnant grâce aux autorisations soit du décret de 1926, soit de la loi de 1928.

Donc, à dater du 19 mars 1928 et pour la période

transitoire qui s'ouvre à cette date, il n'y aura pas, en principe, d'installations nouvelles, et cette prohibition s'appliquera aussi bien aux postes publics qu'aux postes privés.

Il est, à cet égard, remarquable que le législateur n'a pas déclaré : « Aucune autorisation nouvelle ne sera en principe accordée », mais « l'installation de postes nouveaux (d'Etat ou privés) est et demeure interdite », afin de s'opposer notamment à la création des postes d'Etat et de maintenir jusqu'au futur statut, l'équilibre des divers éléments publics et privés dans leur état actuel.

Le paragraphe 5 de l'article 62 ajoute, d'ailleurs, pour tempérer la rigueur du principe, que « nonobstant les dispositions de l'alinéa 4, le Gouvernement pourra accorder des autorisations spéciales ». Il s'agit d'autoriser quoi? des postes d'émission; d'autoriser qui? l'Etat ou des groupements particuliers? Ou à la fois l'Etat ou des groupements privés?

A prendre au pied de la lettre le paragraphe 5 de l'article 62, on pourrait, semble-t-il, en déduire logiquement que cette disposition attribue au Gouvernement la faculté de permettre, à partir du 19 mars 1928, la seule installation des postes privés, et par suite, qu'elle lui interdit d'établir de nouveaux postes publics. Il est à remarquer, en effet, que lorsque l'autorité administrative établit un poste d'émission public, ce n'est pas en vertu d'une « autorisation » que le Gouvernement se donnerait à soi-même, mais en vertu de son droit régalien d'organiser les services publics à son gré; en installant un poste public d'émission, il agit juridiquement en la même qualité qu'en créant un nouveau bureau télégraphique ou téléphonique. On pourrait donc, à la rigueur, soutenir que le paragraphe 5 de l'article 62, lorsqu'il prévoit des autorisations à accorder par le Gouvernement, ne peut s'appliquer qu'aux installations susceptibles par elles-mêmes de comporter une autorisation, c'est-à-dire aux postes privés et non pas aux postes publics qui sont établis, non par « autorisation », mais en vertu du droit essentiel de l'Etat à organiser ses propres services.

Nous n'irons cependant pas jusque là, étant donné la généralité des termes employés par les paragraphes 4 et 5 de l'article 62: « L'installation des postes nouveaux est et demeure interdite. Nonobstant..., le Gouvernement pourra accorder des autorisations spéciales ». Nous les interpréterons, dans le sens le plus favorable à l'Administration, de la manière suivante: En principe, aucun poste nouveau — privé ou public — ne sera installé après le 19 mars 1928; cependant, le Gouvernement pourra, par décret, soit autoriser l'installation de postes privés, soit décider l'installation de postes publics (1).

III. **Sur l'interprétation des paragraphes 4 et 5 de l'article 62 de la loi du 19 mars 1928.** — S'il est, dans tous les cas, une interprétation qui serait juridiquement inadmissible, c'est la suivante: les dispositions précitées habilitent seulement le Gouvernement à installer des stations d'Etat; elles lui interdisent d'autoriser des stations privées.

Contre cette interprétation, divers arguments peuvent être dirigés :

a) Le texte lui-même ne fait aucune distinction entre postes publics et privés;

b) Comme nous l'avons indiqué, le terme « autorisation » ne prend son sens plein et naturel qu'à l'égard des postes privés, puisque les postes d'Etat ne peuvent être l'objet d'une véritable « autorisation » mais sont établis par l'Administration en vertu des pouvoirs généraux d'organisation des services qui lui appartiennent;

c) L'esprit de la loi de 1928 comporte, pour la période transitoire très brève à laquelle elle devait s'appliquer, le maintien du statu quo, c'est-à-dire d'un certain état d'équilibre entre postes privés et postes publics, équilibre qui serait nécessairement rompu si seules les installations d'Etat étaient, à l'avenir, susceptibles d'être établies;

d) Les travaux préparatoires de la loi de 1928 soulignent cet état d'esprit; A la deuxième séance de la Chambre des députés du 16 mars 1928 (*Journal officiel*, Débats Parlementaires, p. 1681), M. Adrien Marquet, député, avait par amendement demandé la suppression du paragraphe qui déroge à la prohibition de tout nouveau poste. Le Président du Conseil, M. Poincaré, l'a combattu et a indiqué qu'il userait avec une grande discrétion du droit qui lui était ainsi conféré; il a ajouté qu'il n'autoriserait les postes privés que dans des cas justifiés et en dehors de toute préoccupation électorale ou d'intérêt privé; sur sa demande, l'amendement a été écarté.

N'est-il pas évident dès lors que la disposition nouvelle vise l'autorisation de postes privés.

IV. **Conclusions.** — Nos conclusions sont les suivantes :

1° Le paragraphe 5 de l'article 62 de la loi du 19 mars 1928 habilite le Gouvernement à autoriser des stations d'émissions privées ;

2° Dans le cas où l'autorisation d'établir une station d'émission privée aurait été demandée par un groupement remplissant les conditions définies par le paragraphe 1er du même article et l'article 15 du décret du 28 décembre 1926 et où elle lui aurait été refusée pour le motif que le paragraphe 5 de l'article 62 de la loi de 1928 ne permettrait pas au Gouvernement de l'accorder, le groupement intéressé aurait la faculté de demander au Conseil d'Etat, par la voie du recours pour excès de pouvoir, l'annulation de cette décision de refus.

Achille Mestre,
Professeur à la Faculté de Droit de Paris,
Conférencier à l'Ecole supérieure
d'Electricité.

(1) Il est à remarquer que l'Administration a déjà usé de cette faculté pour les postes publics qui n'existaient pas au 31 décembre 1927 et qui ont été autorisés depuis.

REVUE GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Organe de l'Union des Syndicats de l'Électricité et du Comité électrotechnique français

réunissant

LA REVUE ÉLECTRIQUE 1904-1916 — **LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 1879-1916**

DIRECTEUR :
J. BLONDIN, Agrégé de l'Université

RÉDACTEUR EN CHEF :
Ad. CURCHOD, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité

14e ANNÉE — TOME XXVIII. — N° 13. — 27 SEPTEMBRE 1930.

Chronique. — Distinction honorifique : Nomination de M. L. Jumau au grade de chevalier de la Légion d'honneur, p. 465. — Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, p. 465. — Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique : Assemblée générale de 1930, p. 467. — Bibliographie : A critical review of litterature on amplifiers for radio reception (Etude critique de la littérature technique relative aux amplificateurs pour réceptions radioélectriques), p. 468 ; Manuel pratique de magnétisme terrestre, par L. EBLÉ, p. 468 ; Manuel de réception radioélectrique, par Pierre DAVID, p. 468.

Section scientifique et technique. — Méthode de calcul des flux, des franges et de la répartition du potentiel au voisinage d'un point dans un espace dont une section est délimitée par des droites, par Gabriel-Henri PERRIN, p. 469. — Revues, analyses et informations : La décharge en couronne, p. 484 ; Sur les phénomènes survenant dans la région cathodique de l'arc dans le vide, p. 485 ; Sur l'obtention d'hydrogène très pur et en quantités notables à l'aide d'un osmorégulateur électrolytique à palladium, p. 486.

Section industrielle. — Quelques résultats d'essais des convertisseurs à balais liquides, par André LATOUR, p. 487. — Contribution à l'étude hydrologique du versant ouest du Plateau central, par M. MARTINET, p. 495. — Revues, analyses et informations : Progrès réalisés dans la technique de la construction des isolateurs sans ciment, p. 498.

Section économique et financière. — Importations et exportations françaises pendant les six premiers mois de l'année 1930, par J. REYVAL, p. 499. — Assemblées générales : Société anonyme de l'Usine électrique des Clées, p. 510 ; Secteur électrique de la Vallée de l'Oise, p. 511 ; Société avignonnaise d'Electricité, p. 512.

Distinction honorifique : Nomination de M. L. Jumau au grade de chevalier de la Légion d'honneur. — Un de nos lecteurs nous signale une omission dans nos informations, omission que nous regrettons d'autant plus qu'elle concerne l'un des plus anciens et assidus collaborateurs de cette revue.

Nous avons, en effet, omis de faire part à nos lecteurs que par décret rendu sur la proposition du ministre de la Marine, en date du 9 août et publié au « Journal officiel » du 10 août 1930, M. L. Jumau a été nommé chevalier de la Légion d'honneur avec la mention suivante :

JUMAU (Lucien-Jules), ingénieur civil, directeur technique à la Compagnie générale d'Electricité ; 39 ans de services.

Nous n'avons pas à rappeler ici l'importante contribution apportée par M. Jumau à l'étude des accumulateurs : nos lecteurs connaissent en effet son magistral ouvrage « Accumulateurs électriques » dont la première édition date d'une trentaine d'années et ils ont pu constater par les nombreux articles qu'il a publiés depuis dans cette revue que ce sujet est resté au premier rang de ses préoccupations techniques. La récompense qu'il vient d'obtenir est donc des mieux méritées.

Congrès de Bruxelles de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique. — Ainsi que nous l'avons annoncé antérieurement (1) le troisième Congrès de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique s'est tenu du 4 au 14 septembre à Bruxelles.

A ce congrès s'étaient fait inscrire cinq cent soixante personnes, nombre dépassant sensiblement celui des congrès précédents, qui s'étaient tenus à Rome en 1926 (1) et à Paris en 1928 (2). Vingt pays étaient représentés et les gouvernements de quelques-uns d'entre eux, notamment le Gouvernement français, avaient bien voulu y déléguer officiellement de hauts fonctionnaires.

Le programme, particulièrement intéressant tant du point de vue des travaux techniques du congrès proprement dit, que des excursions et visites offertes aux congressistes et à leurs familles, avait été préparé avec un soin minutieux par l'Union des Exploitations électriques en Belgique et fut exécuté ponctuellement au cours de ces journées.

La séance d'ouverture eut lieu le 4 septembre au Palais des Académies, sous la présidence de M. Van Caeneghem, ministre des Travaux publics, en présence d'une nombreuse assistance.

Sur l'estrade, avaient également pris place MM. Lippens, ministre des Transports ; Theunis, ancien Premier ministre ; Raoul Lechien, président de l'Union internationale, ancien président de l'Union des Exploitations électriques en Belgique ; Motta, député au Parlement italien, président de l'U-

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 23 août 1930, t. XXVIII, p. 257.

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 2 et 9 octobre 1926, t. XX, p. 465-466 et 497-498 ; 19 et 26 mars, 2, 9, 16, 23 et 30 avril et 7 mai 1927, t. XXI, p. 462-466, 496-508, 539-547, 582-598, 628-632, 663-670, 704-711 et 740-750.

(2) *Idem*, 3 mars, 26 mai et 23 juin 1928, t. XXIII, p. 63 B, 817, 162 B, 194 B ; 14 et 28 juillet, 4, 11, 18 et 25 août, 1er 8, 15, 22 et 29 septembre, 6 et 13 octobre 1928, p. 49, 133-136, 171-178, 203-210, 235-242, 257-274, 299-306, 339-352, 379-386, 419-426, 459-462, 499-506 et 539-542.

nione nazionale fascista Industrie elettriche, vice-président de l'Union internationale ; Duquesne, président, et Uytborck, directeur général de l'Union des Exploitations électriques en Belgique ; Brylinski, délégué général de l'Union internationale ; Ulrich, président du Syndicat français des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, désigné pour répondre, au nom des congressistes étrangers à la Belgique, aux souhaits de bienvenue de leurs hôtes.

M. Raoul Lechien prit le premier la parole. Il remercia les congressistes et leurs familles de se trouver si nombreux à Bruxelles, évoqua le souvenir des deux congrès précédents de l'Union et fit ressortir les efforts accomplis par l'industrie électrique belge, malgré les difficultés de la guerre et de la période d'après-guerre, pour arriver à couvrir complètement le territoire belge de vastes réseaux de distribution d'électricité. Il signala que la réalisation complète de ce programme serait chose faite à la fin de la présente année et ajouta : « C'est notre façon à nous, électriciens, de fêter le Centenaire de notre Indépendance ».

Après la réponse de M. Ulrich, qui remercia chaleureusement, au nom de tous les congressistes, leurs collègues belges de leur splendide réception et les associa en termes émus aux sentiments qui animent la nation belge au moment du Centenaire de son indépendance, M. le ministre des Travaux publics Van Caeneghem souhaita à son tour la bienvenue aux congressistes au nom du Gouvernement belge, rappela que les pouvoirs publics ont le devoir de veiller à la parfaite organisation de la production et de la distribution de l'énergie électrique et ajouta qu'en accomplissant ce devoir, le département des travaux publics de Belgique a conscience de servir à la fois la science et le progrès, ainsi que le bien-être des populations et les grands intérêts nationaux ou même internationaux.

A l'issue de la séance d'ouverture, quelques délégués des divers états représentés au Congrès allèrent déposer une couronne sur la tombe du Soldat inconnu.

A la fin de l'après-midi, les congressistes ont entendu une causerie particulièrement brillante de M. Herry, administrateur, directeur général des Centrales électriques des Flandres et du Brabant sur « la centrale moderne ». Cette conférence, accompagnée de projections cinématographiques, fut une véritable synthèse des multiples aperçus auxquels donne lieu l'étude des problèmes de la production de l'énergie électrique.

Les séances de travail, dont nous rendrons compte séparément, ont eu lieu les vendredi 5, samedi 6, mardi 9 et mercredi 10 septembre, à raison de deux réunions par jour. Suivies assidûment par de très nombreux auditeurs, elles furent extrêmement animées, chacune des importantes questions figurant à l'ordre du jour ayant donné lieu à des échanges de vues très complets,

Ces réunions furent successivement présidées par MM. Motta (Italie), Ulrich (France), Cuorvo (Espagne), Niesz (Suisse), Bakker (Pays-Bas), Busila (Roumanie), Kobylinski (Pologne), List (Tchécoslovaquie).

Pendant les séances de travail, des visites des villes de Bruxelles, Malines et Louvain furent organisées pour les dames avec un soin tout particulier.

Le 5 septembre, à la fin de l'après-midi, les congressistes et leurs familles se retrouvèrent dans la salle gothique du célèbre Hôtel de Ville de Bruxelles où ils furent reçus, en l'absence de M. Max, ministre d'Etat, bourgmestre de la ville, par le premier échevin Baron Lemonnier, dont l'exquise cordialité a été particulièrement appréciée. C'est avec la plus vive émotion qu'ils apprirent quelques jours plus tard, avant même que les diverses manifestations du congrès aient pris fin, que cet éminent magistrat municipal venait d'être brusquement enlevé à la respectueuse affection des Bruxellois. Tous s'associèrent du plus profond du cœur au grand deuil de leurs amis belges.

Le dimanche 7 septembre, les congressistes et leurs familles se rendirent en autocars à Gand et à Langerbrugge ; ils visitèrent l'intéressante usine de la société anonyme Centrales électriques des Flandres et du Brabant, où, sous l'énergique impulsion de son directeur général, M. Herry, les recherches et les perfectionnements les plus modernes ont été réalisés, tant dans le domaine de la production thermique de l'électricité que dans celui de l'utilisation des sous-produits. C'est ainsi que cette usine est équipée avec une chaudière Benson produisant 100 à 135 t de vapeur à l'heure à la pression de 224,2 kg : cm^2. Le combustible utilisé dans l'usine génératrice de Langerbrugge est du semi-coke obtenu par la carbonisation de charbon à basse température et dont les gaz, au pouvoir calorifique élevé, sont récupérés.

Il y a une dizaine d'années, la production de l'énergie électrique à cette usine nécessitait 7 000 calories par kilowatt-heure ; après diverses améliorations réalisées progressivement, on est arrivé aujourd'hui à produire le kilowatt-heure avec 3 000 calories environ.

Après avoir parcouru une grande partie du littoral belge et de ses splendides plages, les congressistes dînèrent à Ostende où, dans la soirée, un magnifique concert symphonique leur fut offert au Kursaal.

Le lundi 8, ils continuèrent la visite du littoral et s'arrêtèrent aux écluses de Nieuport auxquelles se rattache un des souvenirs de la grande guerre, si nombreux dans cette région, où la vaillante et héroïque armée belge lutta contre l'envahisseur dans des conditions encore présentes à toutes les mémoires.

Arrivés à Bruges dans le milieu de la journée, les membres du congrès y entendirent un concert de carillons et, après un déjeuner offert dans la grande salle des Halles, visitèrent cette magnifique ville d'art, unique au monde ; puis ils retournèrent à Bruxelles, non sans s'arrêter de nouveau à Gand, pour visiter les ateliers de constructions de la Société d'Electricité et de Mécanique.

Le 11 septembre, les congressistes furent conduits en autocars à Anvers.

Ils visitèrent tout d'abord la nouvelle usine de Schelle, de la Société générale belge de Production d'Electricité « Interescaut ». Cette usine, une des plus modernes qui aient été réalisées, est prévue pour une puissance installée de 500 000 kw ; elle comporte actuellement trois groupes turboalternateurs de 40 000 kv-a, auxquels viendra s'ajouter en 1931 un groupe turboalternateur de 80 000 kv-a.

La société connue sous le nom d'Interescaut, qui en est propriétaire, a été fondée en 1927 par la Société d'Electricité de l'Escaut dont l'usine de Merxem était arrivée à la limite de sa capacité de développement et par la Société intercommunale belge d'Electricité qui se trouvait dans une situation analogue.

Les congressistes s'embarquèrent, au quai même de l'usine de Schelle, pour effectuer une intéressante promenade sur l'Escaut au cours de laquelle ils purent admirer au passage les installations modernes du grand port d'Anvers.

Après un déjeuner servi dans les salons de la Société royale de Zoologie, les congressistes furent conduits à l'Exposition d'Anvers dont le musée d'art ancien, où se trouvent momentanément réunis des chefs-d'œuvre habituellement dispersés dans tous les musées du monde et

même dans de nombreuses collections particulières, retint particulièrement l'attention des visiteurs.

Après avoir dîné à l'Exposition et admiré les illuminations particulièrement réussies de celle-ci, ils revinrent le soir à Bruxelles.

La journée du lendemain fut consacrée à la visite de la ville de Charleroi, où un déjeuner fut offert, et, au choix des congressistes, à la visite des établissements de la Société des Ateliers de Constructions électriques de Charleroi ou de l'usine génératrice de Farciennes, de la Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut.

Les membres du congrès purent également apprécier le magnifique parc et le musée de Mariemont, où un goûter leur fut servi.

La Société des Ateliers de Constructions électriques de Charleroi, qui est une des plus importantes et des plus anciennes affaires de constructions électriques de Belgique, avait pu en 1914, au moment de l'invasion, détruire systématiquement ses installations, en toute hâte. Après la victoire, obligée de tout reconstituer, elle réussit rapidement dans ses efforts et put reprendre son travail et développer de plus en plus son activité, grâce à une direction énergique. De nombreuses sociétés belges de distribution d'énergie électrique étant ses clients, cette société est parmi celles qui ont facilité le développement de l'électrification du territoire.

La visite de Liége et de la région des Ardennes occupa les deux dernières journées du congrès.

Partis de Bruxelles dans la matinée du 13 septembre, les congressistes visitèrent tout d'abord, les uns, l'usine de Bressoux, les autres les ateliers de la Société anonyme de Constructions électriques de Belgique qui, elle aussi, mérite d'être félicitée pour des raisons analogues à celles qui viennent d'être indiquées pour la Société des Ateliers de Constructions électriques de Charleroi.

Puis, après le déjeuner, ils se rendirent à l'Exposition internationale de Liége, où ils prirent un intérêt tout particulier à la visite du Palais de l'Electricité.

L'Union des Exploitations électriques en Belgique a, notamment, réalisé dans son stand un effort remarquable et a réussi à présenter, d'une façon particulièrement frappante et attrayante pour le public, les résultats si impressionnants de l'activité des producteurs et distributeurs d'énergie électrique de Belgique.

Transportés ensuite en autocars à Spa, les congressistes en repartirent le 14 septembre pour effectuer une excursion dans la région si pittoresque des Ardennes belges. La visite des installations hydroélectriques de la Société d'Electricité de la région de Malmédy, connue sous le nom de Serma, les intéressa tout particulièrement. Cette société a, en effet, profité de conditions topographiques et géologiques favorables pour créer, sur la rivière La Warche, un barrage de 54,50 m de hauteur; une usine hydraulique située à Bevercé près de Malmédy, est prévue pour quatre groupes générateurs, dont trois actuellement installés. Les turbines ont une puissance nominale de 4 200 kw à la vitesse de 750 t : mn; le débit atteint 3 300 l : s sous une chute nette de 151 m. L'usine est reliée à un poste de transformation extérieur, qui permet d'envoyer du courant à 7 000 v, par une ligne de 47 km de longueur, aux installations de l'Union des Centrales électriques de Liége-Namur et Luxembourg à Liége.

Le dîner final a eu lieu à Namur, au pied de la vieille citadelle splendidement illuminée.

Au cours de ces journées de congrès et d'excursions, les participants et leurs familles furent successivement invités par chacun des groupes de sociétés les plus importants de Belgique, qui, tour à tour, leur offrirent une hospitalité somptueuse en de nombreux repas, où le nombre élevé de convives n'empêcha pas la plus franche cordialité de régner.

C'est ainsi qu'ils ont été invités : à Bruxelles, par l'Electrobel (Compagnie générale d'Entreprises électriques et industrielles), la Société de Traction et d'Electricité, la Société Electrorail (Compagnies d'Electricité et de Transports), par l'Union des Exploitations électriques en Belgique, par la Société Interbrabant (Union intercommunale des Centrales électriques du Brabant) et par la Société financière de Transports et d'Entreprises industrielles « Sofina »; à Gand, par la Société anonyme Centrales électriques des Flandres et du Brabant; à Bruges, par les Sociétés Desclée; à Anvers, par la Compagnie électrique anversoise, la Société d'Electricité de l'Escaut et la Société Interescaut; à Charleroi, par les Ateliers de Constructions électriques de Charleroi et la Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut; à Liége, par la Société anonyme Constructions électriques de Belgique et la Société intercommunale belge d'Electricité; à Namur, par la Société anonyme Centrale électrique de l'Entre-Sambre-et-Meuse, la Société anonyme du Gaz de Namur, la Société d'Exploitations régionales et la Compagnie luxembourgeoise d'Electricité.

Chacun des présidents ou administrateurs de ces nombreuses sociétés qui accueillirent les congressistes leur adressa des paroles extrêmement cordiales et fit ressortir l'utilité et l'intérêt des congrès de l'Union internationale.

A tour de rôle, les chefs de délégations des principaux pays représentés au congrès répondirent à ces toasts de bienvenue et remercièrent les sociétés invitantes au nom du congrès tout entier.

Mentionnons encore une magnifique représentation de gala offerte aux congressistes dans la soirée du 9 septembre au Théâtre royal de la Monnaie, à Bruxelles, et une soirée, organisée avec le concours d'artistes de la Comédie française, offerte le 10 septembre par la Sofina, à l'issue du banquet auquel elle avait convié les membres du congrès.

Nous publierons prochainement une analyse des travaux techniques présentés et discutés aux séances de travail du congrès. Certains d'entre eux ont donné lieu à des conclusions, adoptées par l'unanimité de l'assemblée et dont nous publierons également le texte.

Il est de notre devoir de signaler en terminant que la parfaite organisation matérielle de toutes les manifestations de Bruxelles et des excursions et visites a été particulièrement appréciée par les congressistes et par leurs familles. Le mérite en revient à l'Union des Exploitations électriques en Belgique, qui avait assumé, cette année, la lourde charge de recevoir l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique, notamment à son président, M. Duquesne, à son directeur général, M. Uytborck, à son secrétaire, M. Van Halteren et à leurs collaborateurs, parmi lesquels une place prépondérante revient à M. Bertrand, le grand animateur de ces réunions dont le succès éclatant lui est dû pour une très large part.

Nous sommes certains d'être les interprètes de tous les congressistes, et spécialement des participants français, en adressant au personnel de l'Union des Exploitations électriques en Belgique de vives félicitations et de très chaleureux remerciements. — G. M.

Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique : Assemblée générale de 1930. — Pendant le Congrès de Bruxelles dont nous rendons compte ci-dessus, l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique

a tenu son assemblée générale statutaire, au cours de laquelle le Comité de Direction a présenté son rapport sur l'exercice 1928-1930.

L'Assemblée a procédé à l'élection ou à la réélection d'un certain nombre de membres du Comité et a enregistré avec satisfaction les nouvelles adhésions reçues par l'Union pendant l'exercice écoulé.

Aussitôt après l'Assemblée générale, le Comité de Direction s'est réuni et a procédé au renouvellement de son bureau pour l'exercice 1930-1932.

En remplacement de M. Lechien (représentant de la Belgique), dont le mandat était arrivé à expiration, le Comité, à l'unanimité, a nommé président de l'Union internationale, pour deux ans, M. Marcel Ulrich, président du Syndicat français des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique.

Conformément aux statuts : M. Lechien, comme son prédécesseur M. Ponti (représentant de l'Italie), reste membre du Comité à titre supplémentaire et inamovible.

Le Comité a renouvelé pour deux ans le mandat de ses deux vice-présidents actuellement en fonctions MM. Motta (Italie) et Eschwège (France).

Il a décidé de demander à la National Electric Light Association (de New-York) de désigner celui de ses membres à qui elle désirerait voir également confier les fonctions de vice-président de l'Union, en remplacement du regretté John-W. Lieb.

Bibliographie : A critical review of litterature on amplifiers for radio reception (Etude critique de la littérature technique relative aux amplificateurs pour réceptions radioélectriques) (1). — Ce rapport, le neuvième des rapports spéciaux publiés par le Radio-Research Board, a été élaboré pour le compte de cet organisme, au National physical Laboratory, dans le but de déterminer l'orientation des recherches ultérieures sur la question des amplificateurs pour réceptions radioélectriques. Il est divisé en quatre sections principales concernant respectivement les amplificateurs pour fréquences radioélectriques, les redresseurs ; les amplificateurs pour fréquences audibles ; les mesures.

Les sections précitées comprennent pour chacun des sujets traités, une étude critique suivie d'analyses plus ou moins étendues, d'une part, des ouvrages français et étrangers et, d'autre part, des articles publiés dans les revues techniques de toutes langues durant la période s'étendant, en principe, entre les années 1916 et 1929. Les ouvrages et articles dont la publication est antérieure à cette période ne sont cités que s'ils possèdent une valeur historique ou une importance réelle. — R. G.

Bibliographie : Manuel pratique de magnétisme terrestre, par L. Eblé (2). — Ces notes ont été réunies à l'usage des personnes qui ont à exécuter des mesures et à assurer des observations continues d'une façon occasionnelle. L'étude de ces notes suppose connues les notions de physique indispensables ; d'autre part, les descriptions étant assez succinctes le lecteur doit être apte à suppléer, par un examen direct de l'appareil en présence duquel il se trouve, à l'absence d'une longue description.

C'est dans cet esprit que sont exposées successivement, après quelques généralités sur le champ magnétique terrestre, le mode de mesure des éléments magnétiques : déclinaison (détermination du méridien graphique, du méridien magnétique) ; composante horizontale ; inclinaison (méthode directe, méthode des plans rectangulaires et méthode électrique : inductomètre).

L'étude des variations du magnétisme terrestre constituant la partie la plus importante du travail dans un observatoire magnétique, un chapitre sur les quatre dont se compose l'ouvrage lui est consacré. L'auteur y traite de l'enregistrement des variations (appareils employés, leur installation, leur graduation) mais aussi des appareils à lecture directe qui permettent de connaître immédiatement les variations sans attendre qu'un enregistrement soit terminé.

Cet ouvrage se termine par l'étude de l'utilisation des enregistrements et par un exposé du calcul des moyennes. — R. G.

Bibliographie : Manuel de réception radioélectrique, par Pierre David (1). — Cet ouvrage s'adresse aux personnes possédant déjà quelques notions de radioélectricité et qui désirent les préciser sans se spécialiser dans cette branche.

Afin de rendre l'étude du sujet abordable à des lecteurs ne possédant qu'une culture mathématique restreinte, l'auteur n'a intercalé dans le cours du texte qu'un minimum de calculs très simples. Les démonstrations un peu compliquées sont séparées du texte et imprimées en petits caractères.

L'auteur commence par définir les ondes à recevoir, les divers types de signaux, leur intensité, les parasites et les brouillages. Après avoir étudié les collecteurs d'ondes, il aborde le problème de la sélection, que celle-ci soit faite en haute, moyenne ou basse fréquence ; il discute de l'efficacité de la sélection et compare les différents systèmes sélectifs.

Un chapitre passe en revue les divers montages d'amplification en tension et les règles de l'amplification de puissance, en même temps que les dispositifs manuels ou automatiques permettant d'ajuster cette amplification. Un autre chapitre est entièrement consacré à la réaction, à ses effets, aux moyens de la produire ou de l'empêcher.

Ensuite la détection et les différents détecteurs sont examinés au point de vue de leur rendement et de leur emploi rationnel. L'ouvrage traite également des changements de fréquence dont il indique les avantages et les inconvénients, résumant ensuite l'essentiel de la théorie de la superréaction. Il se termine par des considérations générales sur le choix et la construction d'un récepteur et traite de la qualité de la réception.

Cet ouvrage particulièrement clair donne donc les points essentiels à connaître sur la réception radioélectrique. Il permet une étude rapide et substantielle du sujet. — R. L.

(1) Un volume, format 25 cm × 18 cm, de 237 pages, édité par His Majesty's stationery Office. Adastral House, Kingsway, à Londres, W. C. 2. Prix : relié, 5 shillings.

(2) Un volume, format 22,5 cm × 14 cm, de 79 pages, avec 20 figures dans le texte, édité par Les Presses universitaires de France, 49, boulevard Saint-Michel, à Paris (5e). Prix : broché 45 fr.

(1) Un volume, format 25 cm × 14 cm, de 308 pages avec 152 figures dans le texte, édité par la librairie Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain, à Paris (6e). Prix : broché, 36 fr.

SECTION SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

Méthode de calcul des flux, des franges et de la répartition du potentiel au voisinage d'un point dans un espace dont une section est délimitée par des droites

Le problème étudié dans cet article est celui de la répartition des lignes de force et des lignes équipotentielles dans la section plane d'un cylindre, plan normal aux génératrices du cylindre. Partant de l'équation de Laplace qui définit le champ de vecteur, l'auteur étudie les solutions de cette équation dans le cas où la figure est limitée par des droites. Il montre d'abord le parti que l'on peut tirer de la transformation de Schwarz-Christoffel dans cette étude et applique les résultats de cette transformation à quelques cas particuliers bien définis, à savoir, celui où l'espace est limité par deux droites seulement, puis à celui d'un contour formé par quatre droites.

I. **Généralités**. — Les problèmes envisagés sont relatifs à des systèmes cylindriques dont la génératrice est perpendiculaire au plan de la feuille. Nous considérerons une coupe perpendiculaire à la génératrice et nous nous trouvons en présence d'un problème dans le plan.

Le champ de vecteur considéré dérive d'un potentiel et le flux est supposé conservatif ; le potentiel obéit donc à l'équation de Laplace

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} = 0.$$

L'espace plan dans lequel le champ est étudié est limité par un ensemble de lignes droites qui peuvent être soit des lignes équipotentielles, soit des lignes de force. Les lignes équipotentielles et les lignes de force couvrent tout l'espace considéré d'un quadrillage qui permet de déterminer la position d'un point à l'aide de deux nombres.

Dans le cas des coordonnées rectangulaires une valeur unique complexe suffit pour fixer la position d'un point

$$z = x + iy.$$

Nous considérerons de même la grandeur complexe

$$w = \psi + iv,$$

v est la valeur de la fonction potentielle ; ψ, la valeur de la fonction « flux » ou fonction « écoulement ». Cette fonction conserve une valeur constante le long d'une ligne de force. Le flux compris entre deux lignes de force est égal à la différence entre les deux valeurs correspondantes de la fonction ψ. L'origine $\psi = 0$ est prise sur une ligne de force arbitraire.

On démontre en analyse que si w est fonction de z, les deux fonctions v et ψ obéissent chacune à l'équation de Laplace. Par exemple, soit

$$w = K \log_e z;$$

en coordonnées polaires

$$z = \rho (\cos \varphi + i \sin \varphi) = \rho e^{i\varphi},$$

donc

$$\psi + iv = K \log_e \rho + Ki\varphi,$$

d'où on tire

$$\psi = K \log_e \rho \quad \text{et} \quad v = K\varphi.$$

Les lignes de force ρ = constante sont des cercles (fig. 1) et les lignes équipotentielles sont des rayons φ = constante.

Cette distribution se rencontre dans le cas de deux

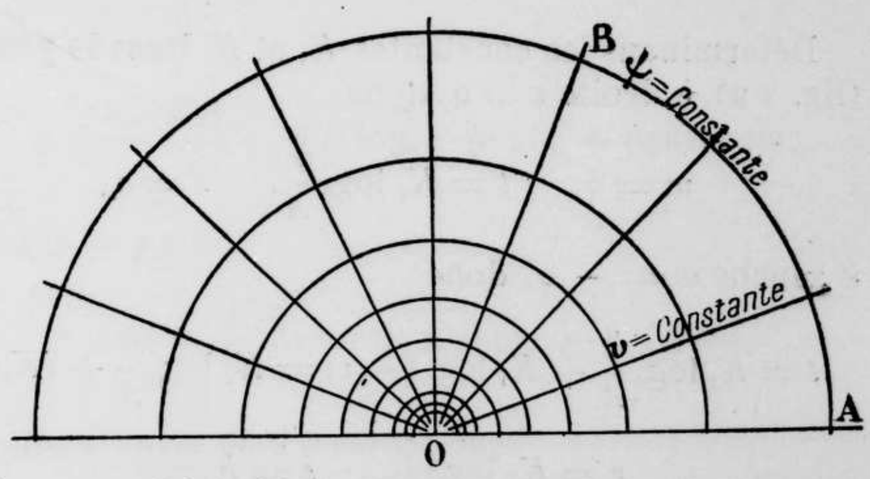


Fig. 1. — Répartition des lignes de force Ψ = constante et des lignes équipotentielles v = constante.

plans formant un dièdre et qui sont à des potentiels différents,

Si OA est au potentiel zéro et OB au potentiel v_0, on a $K = \frac{v_0}{\alpha\pi}$, $\alpha\pi$ étant l'angle AOB.

II. **Introduction de la variable auxiliaire** t. — Pour obtenir la relation entre w et z convenant à un contour donné, on se sert d'une troisième grandeur intermédiaire, t, également complexe $t = r + is$. On est alors amené à rechercher deux relations

$$w = F(t), \qquad z = F_1(t).$$

Nous verrons que ces deux relations sont déterminées par la même méthode.

Géométriquement, ces deux relations signifient que si nous avons deux réseaux de lignes orthogonales dont les mailles se correspondent une à une, tout tracé de lignes de force et de lignes équipotentielles dans un des réseaux sera encore valable dans l'autre réseau si on respecte la correspondance des mailles.

Cherchons, par exemple, la distribution sur une arête dont les deux faces sont au même potentiel. Les deux figures 2a et 2b indiquent le tracé à effectuer pour tracer une ligne de force et une ligne équipotentielle. La grandeur intermédiaire t est figurée par le réseau en pointillé.

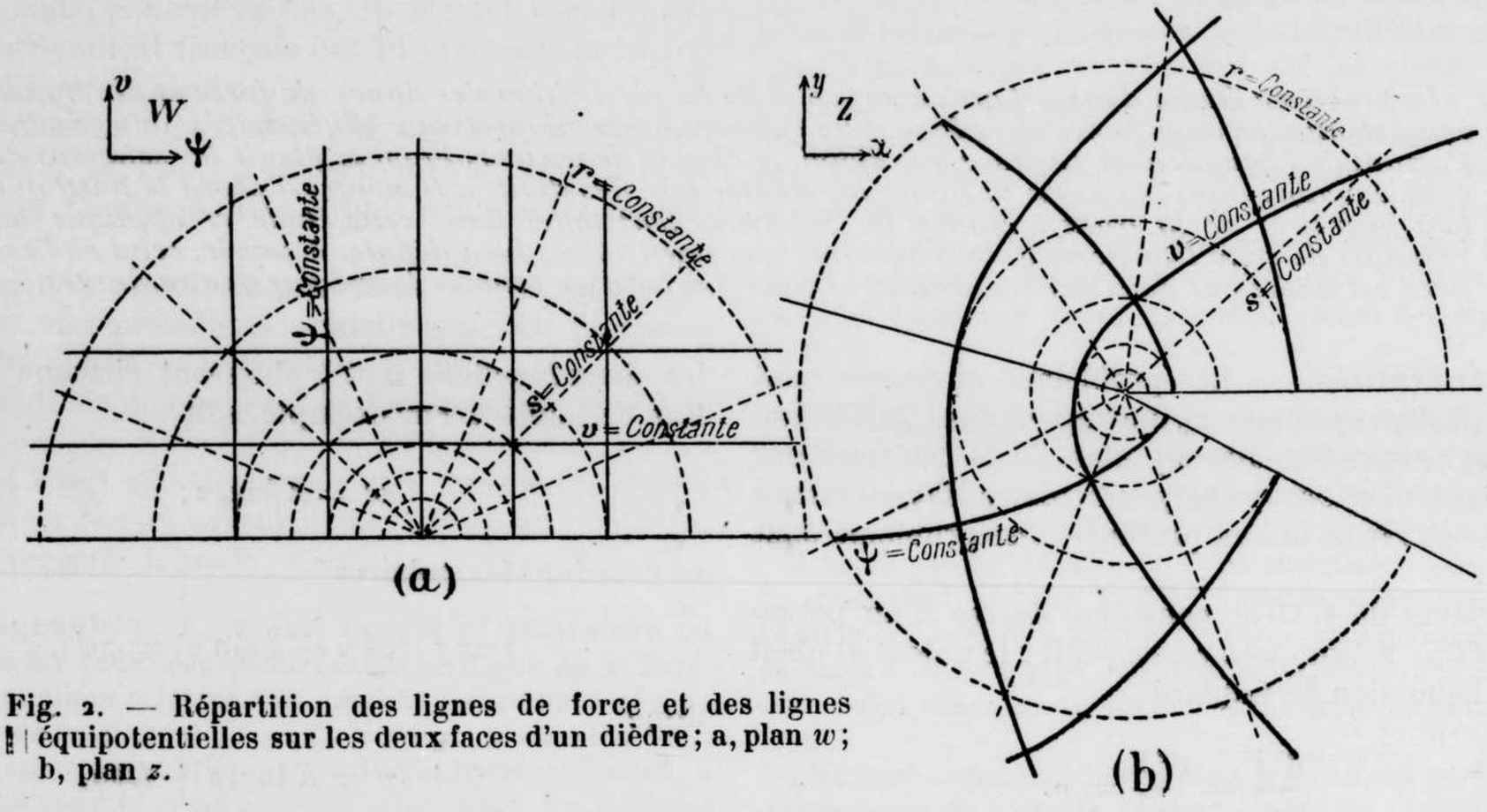


Fig. 2. — Répartition des lignes de force et des lignes équipotentielles sur les deux faces d'un dièdre; a, plan w; b, plan z.

Considérons maintenant le même problème analytiquement, les cercles correspondent à r = constante et les rayons à s = constante

$$t = K_1 \log_e \frac{w}{A}, \qquad t = K \log_e z.$$

Déterminons les constantes K_1 et K. Dans le plan W (fig. 2 a), à droite $v = 0$, donc

$$w = \psi, \qquad t = K_1 \log_e \frac{\psi}{A}, \qquad s = 0;$$

à gauche $w = -\psi$, donc

$$t = K_1 \log_e \frac{\psi}{A} + K_1 \log_e (-1) = K_1 \log_e \frac{\psi}{A} + iK_1\pi,$$

$$r = K_1 \log_e \frac{\psi}{A}, \qquad s = K_1\pi.$$

Dans le plan Z (fig. 2 b)

$$z = e^{\frac{t}{K}} = e^{\frac{r}{K}} \left(\cos \frac{s}{K} + i \sin \frac{s}{K} \right),$$

en coordonnées polaires

$$z = \rho (\cos \varphi + i \sin \varphi),$$

pour $s = 0$, $\varphi = 0$

$$\rho = e^{\frac{r}{K}} = \left(\frac{\psi}{A} \right)^{\frac{K_1}{K}}$$

et pour

$$s = K_1\pi, \qquad \varphi = \alpha\pi,$$

donc

$$\frac{K_1\pi}{K} = \alpha\pi \quad \text{et} \quad \frac{K_1}{K} = \alpha;$$

et $\frac{K_1}{K} = \alpha$; donc

$$\rho = \left(\frac{\psi}{A} \right)^{\alpha}.$$

ce qui donne la répartition du flux le long d'un côté de l'arête.

D'une façon générale, nous avons dans cette transformation

$$z = \left(\frac{w}{A} \right)^{\alpha}$$

que nous savons traduire géométriquement par la construction donnée (fig. 2 a et 2 b)

Nous pouvons prendre maintenant pour relation entre z et t la forme

$$z = Kt^{\alpha}.$$

Les deux relations qui se présentent dans l'exemple précédent sont alors

$$w = At, \quad z = Kt^{\alpha},$$

III. **Transformation de Schwarz-Christoffel.** — La transformation de Schwarz-Christoffel, généralise la transformation précédente. Elle se présente sous une forme différentielle.

Considérons certaines valeurs réelles de t, $s = 0$ et $r = a$, $r = b$, $r = c$, etc., en ordre croissant et

$$dz = K(t-a)^{\alpha-1}(t-b)^{\beta-1}(t-c)^{\gamma-1}(t-d)^{\delta-1}\,dt, \quad (1)$$

K est une constante qui peut être complexe; α, β, γ sont des nombres réels pouvant être fractionnaires ou négatifs.

Supposons que le point M dans le plan t (fig. 3 a) décrive le segment $s = 0$ compris entre $r = b$ et $r = c$, on a $dt = dr$ et comme

$$a < b < r < c < d,$$

On a donc

$$dz = Kdr(r-a)^{\alpha-1}(r-b)^{\beta-1}(c-r)^{\gamma-1}(d-r)^{\delta-1}(-1)^{\gamma+\delta-2};$$

toutes les différences sont réelles et positives, les puis-

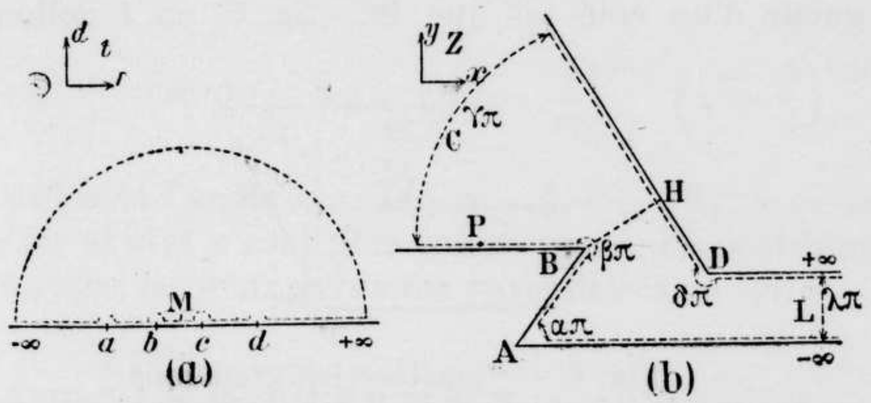


Fig. 3. — Représentation graphique de la transformation de Schwarz-Christoffel : a, plan t, $s = 0$; b, plan Z.

sances sont donc réelles et dz fait avec l'axe Ox un angle donné par

$$(\gamma + \delta - 2)\,\pi + \text{constante}.$$

La constante ne dépend que de K, le point P, dans le plan Z décrit donc une droite.

Etudions maintenant ce que donne la transformation pour les valeurs de t voisines de a, b, c, d et pour les valeurs infinies,

1° Considérons par exemple t voisin de a et posons $t - a = x$, x étant infiniment petit, on a

$$(t-b)^{\beta-1} = (a-b+x)^{\beta-1} = (a-b)^{\beta-1} + (\beta-1)(a-b)^{\beta-2}x + \frac{(\beta-1)(\beta-2)}{2}(a-b)^{\beta-3}x^2;$$

de même pour $(t-c)$, $(t-d)$.

L'expression (1) prend la forme,

$$dz = Kdx\,x^{\alpha-1}(A + Bx + Cx^2 + \ldots),$$

et en intégrant

$$z = KA\frac{x^{\alpha}}{\alpha} + KB\frac{x^{\alpha+1}}{\alpha+1} + KC\frac{x^{\alpha+2}}{\alpha+2} + \ldots + \text{constante}$$

sauf dans les cas suivants : $\alpha = 0$, $\alpha = -1$, $\alpha = -2$.

Quand x tend vers zéro, le deuxième, le troisième et les termes suivants sont infiniment petits par rapport au premier terme, donc

$$z = KA\frac{x^{\alpha}}{\alpha} + \text{constante}.$$

Quand le point M dans le plan t passe de $-x$ à $+x$ en décrivant un demi-cercle

$$x = \rho(\cos\varphi + i\sin\varphi) = \rho e^{i\varphi},$$

φ varie de π à zéro et

$$z = KA\frac{\rho^{\alpha}e^{i\alpha\varphi}}{\alpha} + \text{constante}.$$

Si α est positif, ρ^{α} est infiniment petit, le point P dans le plan Z décrit un arc de cercle de rayon infiniment petit et dont l'angle du centre est $\alpha\pi$.

Si α est négatif, ρ^{α} est infiniment grand, le point P dans le plan Z décrit un arc de cercle de rayon infiniment grand dont l'angle au centre est encore $\alpha\pi$.

Si $\alpha = 0$

$$z = KA\log_e x + KBx + \ldots + \text{constante};$$

pour

$$x = \rho e^{i\varphi},$$

on a

$$z = KA\log_e\rho + iKA\varphi + \ldots.$$

Quand φ varie de π à zéro on a

$$\Delta z = iKA\pi = iK\pi(a-b)^{\beta-1}(a-c)^{\gamma-1}(a-d)^{\delta-1}.$$

Si $\alpha = -1$,

$$z = -\frac{KA}{x} + KB\log_e x + \ldots + \text{constante};$$

pour $x = \rho e^{i\varphi}$

$$z = -\frac{KA}{\rho}e^{-i\varphi} + KB\log_e\rho + iKB\varphi,$$

quand φ varie de π à zéro, pour

$$\varphi = \pi, \quad z = \frac{KA}{\rho} + iKB\pi,$$

$$\varphi = 0, \quad z = -\frac{KA}{\rho}.$$

Si $\alpha = -2$,

$$z = -\frac{KA}{2x^2} - \frac{KB}{x} + KC\log_e x + \ldots + \text{constante},$$

comme précédemment si

$$z = -\frac{KA}{2\rho^2}e^{-2i\varphi} - \frac{KB}{\rho}e^{-i2\varphi} + KC\log_e\rho + iKC\varphi\ ;$$

pour $\varphi = \pi$

$$z = -\frac{KA}{2\rho^2} + iKC\pi,$$

pour $\varphi = 0$

$$z = -\frac{KA}{2\rho^2}.$$

Les trois figures 4 a, 4 b, 4 c représentent ces trois cas très importants dans les applications.

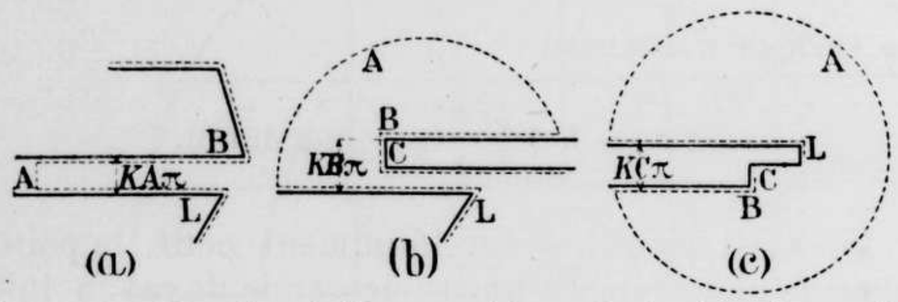


Fig. 4. — Représentation graphique de la transformation de Schwarz-Christoffel dans le cas où t est voisin de a : a, $\alpha = 0$; b, $\alpha = -1$; c, $\alpha = -2$.

2° Considérons maintenant les valeurs infiniment grandes de t, on peut écrire

$$dz = K\,dt\,t^{\alpha-1+\beta-1+\gamma-1+\delta-1}$$

$$\left(1-\frac{a}{t}\right)^{\alpha-1}\left(1-\frac{b}{t}\right)^{\beta-1}\left(1-\frac{c}{t}\right)^{\gamma-1}\left(1-\frac{d}{t}\right)^{\delta-1}$$

qu'on peut développer en série

$$\left(1-\frac{a}{t}\right)^{\alpha-1} = 1-(\alpha-1)\frac{a}{t}+\frac{(\alpha-1)(\alpha-2)}{2}\frac{a^2}{t^2}-\ldots.$$

De même que dans le cas précédent, on a

$$dz = K\,dt\,t^{\alpha-1+\beta-1+\gamma-1+\delta-1}\left(1+\frac{M}{t}+\frac{P}{t^2}+\ldots\right);$$

pour simplifier l'écriture posons

$$\alpha-1+\beta-1+\gamma-1+\delta-1 = -\lambda-1,$$

il vient en intégrant

$$z = -K\frac{t^{-\lambda}}{\lambda} - KM\frac{t^{-\lambda-1}}{\lambda+1} - KP\frac{t^{-\lambda-2}}{\lambda+2} + \text{constante},$$

sauf pour $\lambda = 0, -1, -2$.

La discussion est analogue à la précédente.

Si le point M dans le plan t décrit un demi-cercle de rayon infiniment grand

$$t = R\,e^{i\varphi},$$

φ varie de 0 à π. Si λ est positif, le point P décrit un arc de cercle de rayon infiniment petit et dont l'angle au centre est $\lambda\pi$. Si λ est négatif le point P décrit un arc de cercle de rayon infiniment grand et dont l'angle au centre est encore $\lambda\pi$.

Enfin, dans les cas où $\lambda = 0$, $\lambda = -1$ et $\lambda = -2$, nous trouvons les trois distances $iK\pi$, $iKM\pi$, $iKP\pi$, représentées sur les trois figures 5 a, 5 b, 5 c.

Ces expressions ont une grande importance pratique.

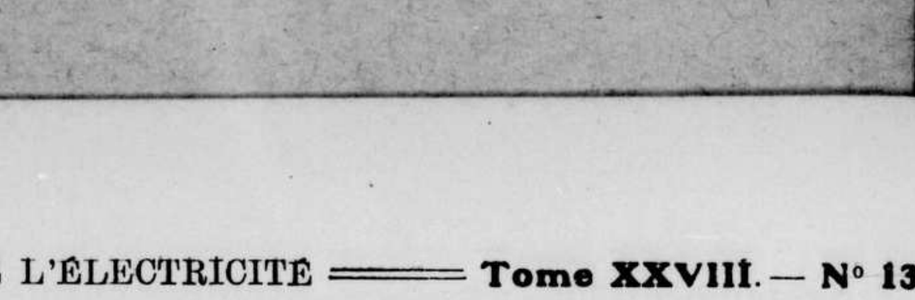


Fig. 5. — Représentation graphique de la transformation de Schwarz-Christoffel dans le cas où t est infiniment grand : a, $\lambda = 0$; b, $\lambda = -1$; c, $\lambda = -2$.

Elles relient les dimensions du contour aux variables auxiliaires a, b, c, d sans intégration.

IV. Calcul de la longueur d'un côté du contour. — Nous nous proposons maintenant de calculer la longueur d'un côté tel que BC (fig. 6) en fonction de

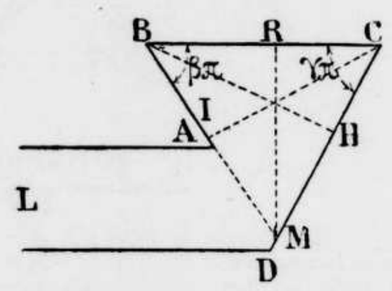


Fig. 6. — Construction graphique en vue de l'évaluation de la longueur d'un contour.

a, b, c, d. Les angles $\beta\pi$ et $\gamma\pi$ sont évidemment positifs.

On a

$$BC = \int_{t=b}^{t=c} dz$$

$$= \int_b^c K\,dt\,(t-a)^{\alpha-1}(t-b)^{\beta-1}(t-c)^{\gamma-1}(t-d)^{\delta-1}. \quad (2)$$

Nous allons remplacer t par une nouvelle variable x telle que, pour $t = b$, $x = 0$ et pour $t = c$, $x = 1$. En outre, les valeurs de x correspondant aux autres sommets devront être positives et plus grandes que 1.

La marche à suivre pour effectuer ce changement de variable est la suivante : pour le sommet A précédant le point B on choisira $x = -\infty$; on est donc conduit à prendre $\frac{1}{a-t}$; pour $t = b$ on aurait $\frac{1}{a-b}$; comme on

désire avoir zéro il faut donc prendre

$$\frac{1}{a-t}+\frac{1}{b-a}=\frac{t-b}{(t-a)(b-a)};$$

enfin pour $t=c$, on aurait

$$\frac{c-b}{(c-a)(b-a)}$$

et comme on désire avoir 1, on est conduit finalement à prendre

$$x=\frac{t-b}{t-a}\,\frac{c-a}{c-b}.$$

Les valeurs correspondantes de t et de x pour les sommets A, B, C, D, L sont données ci-dessous

Sommets.	A		B	C	D	L
$t=$	a		$<b<$	$c<$	$d<$	$+\infty$
$x=$	$+\infty$	$-\infty$	$<0<$	$1<$	$m<$	p

avec

$$m=\frac{d-b}{d-a}\,\frac{c-a}{c-b},\qquad p=\frac{c-a}{c-b}.$$

En remplaçant dans l'intégrale (2) t par sa valeur on trouve

$$BC=\int_0^1 K(-1)^{\gamma+\delta-2}(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-b)^{\delta-1}$$

$$(b-a)^{\alpha+\beta-1}x^{\beta-1}(1-x)^{\gamma-1}\left(1-\frac{x}{m}\right)^{\delta-1}\left(1-\frac{x}{p}\right)^{\lambda-1}$$

(en utilisant l'angle $\lambda=3-\alpha-\beta-\gamma-\delta$); x varie de 0 à 1 et m et p sont plus grands que 1; on peut donc développer les deux dernières parenthèses en série

$$\left(1-\frac{x}{m}\right)^{\delta-1}=1+(1-\delta)\frac{x}{m}$$

$$+\frac{(1-\delta)(2-\delta)}{1.2}\frac{x^2}{m^2}+\frac{(1-\delta)(2-\delta)(3-\delta)}{1.2.3}\frac{x^3}{m^3}+\ldots,$$

$$\left(1-\frac{x}{p}\right)^{\lambda-1}=1+(1-\lambda)\frac{x}{p}+\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{1.2}\frac{x^2}{p^2}+\ldots.$$

En exécutant la multiplication de ces deux séries on obtient une série unique convergente de la forme

$$1+Ax+B\frac{x^2}{1.2}+C\frac{x^3}{1.2.3}+\ldots,$$

A, B, C sont fonctions de δ, λ, m et p.

On a donc

$$BC=K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-b)^{\delta-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$

$$\int_0^1 x^{\beta-1}(1-x)^{\gamma-1}\left(1+Ax+\frac{B}{2}x^2+\ldots\right)dx.$$

On sait que

$$\int_0^1 x^{\beta-1}(1-x)^{\gamma-1}=\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)},$$

Γ étant une fonction eulérienne dont on possède des tables (voir annexe).

L'intégrale est donc égale à

$$\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}+A\frac{\Gamma(\beta+1)\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma+1)}+\frac{B}{2}\frac{\Gamma(\beta+2)\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma+2)}+\ldots.$$

Mais la fonction Γ a une propriété fondamentale

$$\Gamma(z+1)=z\Gamma(z).$$

On a donc finalement

$$BC=K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-b)^{\delta-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$

$$\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}\left(1+\frac{\beta}{\beta+\gamma}A+\frac{\beta(\beta+1)}{(\beta+\gamma)(\beta+\gamma+1)}\frac{B}{2}+\ldots,\right).\quad(3)$$

Cette série est convergente, sauf quand $(\beta+\gamma)$ est nul ou égal à un nombre entier, négatif.

V. Généralisation dans le cas d'angles négatifs. — Nous devons maintenant envisager le cas où β, γ, prennent des valeurs négatives. Les fonctions Γ ne sont d'ailleurs définies que pour des variables positives.

Prolongeons (fig. 6) les deux côtés BA et CD jusqu'en M, leur point de rencontre, et dans le triangle BCM ainsi constitué, considérons également les trois hauteurs BH, CI, MR, on a

$$BH=BC\sin\gamma\pi,\quad CI=BC\sin\beta\pi.$$

Or les fonctions Γ possèdent une seconde propriété fondamentale

$$\Gamma(z)\sin\alpha z=\frac{\pi}{\Gamma(1-z)}.$$

On tire de là

$$BH=K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-b)^{\delta-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$

$$\frac{\pi\Gamma\beta}{\Gamma(\beta+\gamma)\Gamma(1-\gamma)}\left(1+\frac{\beta}{\beta+\gamma}A+\ldots\right).$$

$$CI=K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-b)^{\delta-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$

$$\frac{\pi\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)\Gamma(1-\beta)}\left(1+\frac{\beta}{\beta+\gamma}A+\ldots\right).$$

On trouvera de la même façon les autres éléments du triangle. Dans l'expression de BC il suffit de remplacer $\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}$ par les expressions suivantes :

pour BM,

$$\frac{\Gamma\beta\Gamma(1-\beta-\gamma)}{\Gamma(1-\gamma)};$$

pour CM,

$$\frac{\Gamma\gamma\,\Gamma(1-\beta-\gamma)}{\Gamma(1-\beta)};$$

pour MR,

$$\pi\frac{\Gamma(1-\beta-\gamma)}{\Gamma(1-\beta)\,\Gamma(1-\gamma)}.$$

Quels que soient les angles β et γ, on a donc à sa disposition au moins une des six longueurs indiquées ci-dessus.

Les figures 3b et 7 montrent comment se présentent

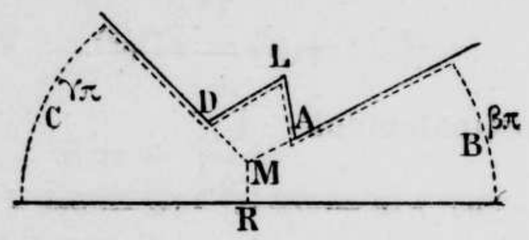


Fig. 7. — Représentation du contour pour β et γ négatifs.

ces longueurs dans des cas particuliers. Il reste à examiner les cas où $\beta+\gamma=0$ et $\beta+\gamma=-1$.

Pour $\beta+\gamma=0$ (fig. 8) le point M est rejeté à l'infini, on est conduit à calculer la longueur BH ; le terme

$$\frac{\pi\Gamma\beta}{\Gamma(\beta+\gamma)\,\Gamma(1-\gamma)},$$

tend vers zéro, et la série

$$\left(1+\frac{\beta}{\beta+\gamma}A+\dots\right)$$

augmente indéfiniment.

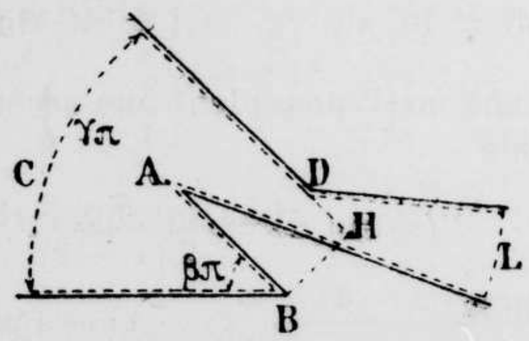


Fig. 8. — Représentation du contour pour $\beta+\gamma=0$.

On trouve pour limite du produit, quand $\beta+\gamma$ tend vers zéro

$$BH=K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{-1}(d-b)^{\delta-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$
$$\pi\left(A+(\beta+1)\frac{B}{1.2}+\frac{(\beta+1)(\beta+2)}{1.2}\frac{C}{1.2.3}+\dots\right)$$

Pour $\beta+\gamma=-1$ (fig. 9), par exemple, on est conduit à calculer la longueur BQ, perpendiculaire à BA.

On trouve après recherche de la limite, quand $\beta+\gamma$ tend vers -1,

$$BQ=K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{-2}(d-b)^{\delta-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$
$$\pi\left(\frac{B}{1.2}+\frac{(\beta+2)}{1.2.3}C+\frac{(\beta+2)(\beta+3)}{2.1.2.3.4}D+\dots\right).$$

VI. **Différents changements de variable.** — Le changement de variable considéré est le plus général; il y a trois cas particuliers pour lesquels le changement de variable est simplifié.

Pour le côté AB, il suffit de poser

$$x=\frac{t-a}{b-a};$$

pour le côté DL,

$$x=\frac{t-d}{t-c};$$

et pour le côté LA

$$x=\frac{d-a}{d-t}.$$

Après avoir substitué x à t on retrouve une expression en tout point semblable à l'expression qui a donné BC.

On est également à même de calculer les longueurs correspondantes aux éléments du triangle BCM.

Nous pouvons également trouver une autre série de transformation : dans le calcul de BC, on a pris $x=0$

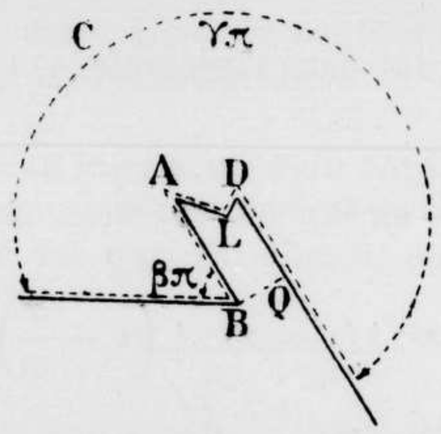


Fig. 9. — Représentation du contour pour $\beta+\gamma=-1$.

en B et $x=1$ en C; nous pouvons également faire l'inverse en prenant $x=-\infty$ en D, $x=0$ en C et $x=1$ en B.

Les expressions que nous avons trouvées peuvent être utilisées en faisant les substitutions suivantes : A, B, C, D sont remplacés respectivement par D, C, B, A; a, b, c, d par $-d$, $-c$, $-b$, $-a$ et α, β, γ, δ par δ, γ, β, α. Les points L et γ demeurent inchangés.

On trouve par exemple dans le nouveau système

$$CB=K(d-b)^{-\gamma}(c-b)^{\gamma+\beta-1}(e-a)^{\alpha-1}(d-c)^{\delta+\gamma-1}$$
$$\frac{\Gamma\gamma\,\Gamma\beta}{\Gamma(\gamma+\beta)}\left(1+\frac{\gamma}{\gamma+\beta}A_1+\frac{\gamma(\gamma+1)}{(\gamma+\beta)(\gamma+\beta+1)}\frac{B_1}{1.2}+\dots.\right),$$

A_1, B_1, etc., étant les coefficients de x dans le développement en série de

$$\left(1-\frac{(d-a)(c-b)}{(c-a)(d-b)}x\right)^{\alpha-1}\left(1-\frac{c-b}{d-b}x\right)^{\gamma-1}$$
$$=1+A_1x+\frac{B_1}{1.2}x^2+\dots.$$

Pour le contour considéré A, B, C, D, L ayant cinq côtés, nous avons dix séries à notre disposition.

Le contour dont on connaît les angles est complètement déterminé quand on en connaît trois longueurs. Sur les quatre variables a, b, c, d, deux peuvent être prises arbitrairement; il ne reste donc que deux variables et la constante K.

Dans les dix séries qui sont à notre disposition, nous prendrons les trois séries qui convergent le plus rapidement. Les valeurs particulières qui se présentent dans le cas des angles égaux à $0 - 1$ et $- 2$ seront évidemment à prendre en premier puisqu'elles ne comportent pas de développement en série. Ajoutons qu'en général, la constante K est éliminée, les rapports des éléments du contour étant seuls considérés.

Nous avons donc en résumé le moyen de construire un contour à cinq côtés en fonction de deux variables auxiliaires.

VII. **Cas particulier d'un contour à quatre côtés.** — Considérons plus particulièrement le cas d'un contour ne présentant que quatre côtés. Il suffit de faire $\delta = 1$ dans les formules générales.

On trouve ainsi

$$BC = K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$

$$\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma\beta+\gamma}\left(1+\frac{\beta}{\beta+\gamma}A+\frac{(\beta(\beta+1)}{(\beta+\gamma)(\beta+\gamma+1)}\frac{B}{1.2}+\ldots\right)$$

avec

$$\left(1-\frac{c-b}{c-a}\right)^{\lambda-1}=1+(1-\lambda)\frac{c-b}{c-a}+\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{1.2}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2+\ldots$$

$$=1+A+\frac{B}{1.2}.$$

Donc

$$BC = K(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}$$

$$\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}\left(1+\frac{\beta(1-\lambda)}{\beta+\gamma}\frac{c-b}{c-a}+\frac{\beta(1-\lambda)}{(\beta+\gamma)}\frac{(\beta+1)(2-\lambda)}{(\beta+\gamma+1)}\frac{1}{1.2}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2+\ldots,\right)$$

avec

$$\lambda = 2-\alpha-\beta-\gamma,$$

Cette série est connue sous le nom d'hypergéométrique. On la note de la façon suivante

$$F(a,b;c;z)=1+\frac{ab}{c}z+\frac{ab}{c}\frac{(a+1)(b+1)}{(c+1)}\frac{z^2}{1.2}+\frac{ab}{c}\frac{(a+1)(b+1)}{(c+1)}\frac{(a+2)(b+2)}{(c+2)}\frac{z^3}{1.2.3}+\ldots.$$

Finalement, les huit séries que nous avons à notre disposition sont les suivantes

$$AB = K(b-a)^{\alpha+\beta-1}(c-a)^{\gamma-1}\frac{\Gamma\alpha\Gamma\beta}{\Gamma(\alpha+\beta)}F\left(\alpha,1-\gamma;\alpha+\beta;\frac{b-a}{c-a}\right);$$

$$BC = K(b-a)^{\alpha+\beta-1}(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma}F\left(\beta,1-\lambda;\beta+\gamma;\frac{c-b}{c-a}\right);$$

$$CL = K(c-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\beta+\gamma-1}\frac{\Gamma\gamma\Gamma\lambda}{\Gamma(\gamma+\lambda)}F\left(\gamma,1-\alpha;\gamma+\lambda;\frac{b-a}{c-a}\right);$$

$$LA = K(c-a)^{-\lambda}\frac{\Gamma\lambda.\Gamma\alpha}{\Gamma\lambda+\tilde{\alpha}}F\left(\delta,1-\gamma;\lambda+\alpha;\frac{c-b}{c-a}\right)$$

et quatre autres séries obtenues en remplaçant

A, B, C, L par C, B, A, L; a, b, c par $-c$, $-b$, $-a$,

et α, β, γ, λ par γ, β, α, λ;

par exemple :

$$AB = K(c-b)^{\beta+\gamma-1}(c-a)^{-\beta}(b-a)^{\alpha+\beta-1}\frac{\Gamma\beta\Gamma\alpha}{\Gamma(\beta+\alpha)}F\left(\beta,1-\lambda;\beta+\alpha;\frac{b-a}{c-a}\right).$$

Dans les cas où les angles sont négatifs, on utilise les différentes longueurs telles que BH, CI, MR, indiquées dans le cas général.

Le contour à quatre côtés dont on connaît les angles est complètement défini quand on connaît la longueur de deux côtés

Comme

$$\frac{b-a}{c-a}+\frac{c-b}{c-a}=1,$$

un des modules est inférieur à $1/2$; on calculera donc les deux longueurs pour lesquelles le module de la série est inférieur à $1/2$, ce qui donne une convergence assez rapide.

Sur les trois variables, a, b, c, deux peuvent être choisies arbitrairement.

Tous les contours à quatre côtés dont les angles sont donnés peuvent donc être déterminés en fonction d'une seule variable auxiliaire.

VIII. **Cas des contours présentant des coupures à bords parallèles.** — Au cas particulier précédent se rattache une catégorie importante de contours comportant plusieurs coupures à bords parallèles. Considé-

rons, par exemple, le cas de la figure 10. Nous avons

$$dz = K\,dt\,\frac{(t-a)^{\alpha-1}\,(t-a)^{\delta-1}}{(t-b)\,(t-c)},$$

qui se décompose en somme de deux termes

$$dz = K\,\frac{dt}{c-b}\,(t-a)^{\alpha-1}\,(t-c)^{-1}\,(t-d)^{\delta-1} - K\,\frac{dt}{c-b}\,(t-a)^{\alpha-1}\,(t-b)^{-1}\,(t-d)^{\delta-1}.$$

Nous savons trouver la valeur de chacune de ces intégrales; le changement de variable peut d'ailleurs

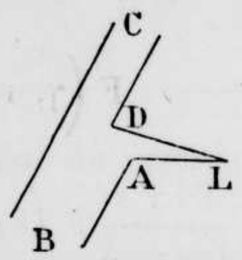


Fig. 10. — Exemple d'un contour présentant des coupures à bords parallèles.

ne pas être le même dans les deux cas. On a, par exemple,

$$LA = \frac{K}{c-b}\,(d-a)^{-\lambda}\,\frac{\Gamma\lambda\,\Gamma\alpha}{\Gamma(\alpha+\lambda)}\,F\left(\lambda, 1; 2-\delta; \frac{d-c}{d-a}\right) - \frac{K}{(c-b)}\,(d-a)^{-\lambda}\,\frac{\Gamma\lambda\,\Gamma\alpha}{\Gamma(\alpha+\Gamma)}\,F\left(\lambda, 1; 2-\delta; \frac{d-b}{d-a}\right),$$

en posant

$$\lambda = 2 - \alpha - \delta.$$

IX. Limite de la longueur d'un côté adjacent à un angle qui tend vers zéro. — Nous nous proposons maintenant de calculer ce que devient un côté adjacent à un angle qui tend vers zéro; soit, par exemple BC. Deux cas se présentant suivant que β ou γ tend vers zéro (fig. 6).

Nous supposerons que l'autre angle est constant ainsi que δ et λ; le dernier angle $\alpha\pi$ sera donc variable ; on doit le remplacer par sa valeur

$$\alpha = 3 - \beta - \gamma - \delta - \lambda.$$

En règle générale, on élimine l'angle correspondant à $x = \pm\infty$ dans le changement de variable puisque cet angle ne figure pas explicitement dans la transformation de Schwarz-Christoffel

Reprenons l'expression de BC

$$BC = K(b-a)^{2-\gamma-\delta-\lambda}(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-b)^{\delta-1}\frac{\Gamma\beta\,\Gamma\gamma}{\Gamma\beta+\gamma}\left(1 + \frac{\beta}{\beta+\gamma}A + \frac{\beta(\beta+1)}{(\beta+\gamma)(\beta+\gamma+1)}\,\frac{B}{1.2} + \ldots\right). \quad (3)$$

Les valeurs A, B, C, ne dépendent que de δ et λ et sont, par conséquent, constantes.

On voit que β ou γ figurent dans trois sortes de termes :

1° Dans les termes tels que $(c-a)^{-\beta}$ si β tend vers zéro; on a

$$(c-a)^{-\beta} = e^{-\beta\log(c-a)} = 1 - \beta\log(c-a).$$

2° Dans les termes $\frac{\Gamma\beta\,\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}$ si β tend vers zéro; on a

$$\Gamma(\beta+\gamma) = \Gamma(\gamma) + \beta\,\Gamma'(\gamma)$$

$$\Gamma(\beta) = \frac{\Gamma(1+\beta)}{\beta} = \frac{1}{\beta} + \Gamma'(1),$$

Γ' étant la dérivée de la fonction Γ ; on en possède également des tables (voir annexe).

Quand β tend vers zéro

$$\frac{\Gamma\beta\,\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}$$

tend vers

$$\frac{1}{\beta} + \Gamma'(1) - \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma(\gamma)}.$$

Quand γ tend vers zéro

$$\frac{\Gamma\beta\,\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}$$

tend vers

$$\frac{1}{\gamma} + \Gamma'(1) - \frac{\Gamma'(\beta)}{\Gamma(\beta)};$$

3° Enfin pour la série, si β tend vers zéro, on a

$$1 + \beta\left(\frac{A}{\gamma} + \frac{1}{\gamma(\gamma+1)}\,\frac{B}{1.2} + \frac{1.2}{\gamma(\gamma+1)(\gamma+2)}\,\frac{C}{1.2.3} + \ldots\right) = 1 + \beta S$$

et si γ tend vers zéro on a

$$1 + A + \frac{B}{1.2} + \frac{C}{1.2.3} + \ldots - \gamma\left[\frac{A}{\beta} + \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta+1}\right)\frac{B}{1.2} + \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta+1} + \frac{1}{\beta+2}\right)\frac{C}{1.2.3} + \ldots\right] = \left(\frac{b-a}{c-d}\,\frac{d-c}{d-b}\right)^{\delta-1}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)^{\lambda-1} - \gamma R.$$

On a donc finalement pour valeur de BC quand β tend vers zéro

$$BC = K(b-a)^{2-\gamma-\delta-\lambda}\,(c-b)^{\gamma-1}\,(d-b)^{\delta-1}\left[\frac{1}{\beta} + S + \Gamma'(1) - \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma(\gamma)} + \log_e\frac{c-b}{c-a}\right] \quad (4)$$

et quand γ tend vers zéro

$$BC = K(c-a)^{2-\beta-\delta-\lambda}(d-c)^{\delta-1}(c-b)^{\beta-1}\left[\frac{1}{\gamma}+\Gamma'(1)-\frac{\Gamma'(\beta)}{\Gamma(\beta)}+\log_e\frac{c-b}{b-a}\right]$$
$$-K(b-a)^{2-\delta-\lambda}(c-a)^{-\beta}(d-b)^{\delta-1}(c-b)^{\beta-1}R. \quad (5)$$

On trouverait par une méthode analogue les expressions des autres côtés du contour.

Considérons maintenant le cas particulier du contour ABCL à quatre côtés ; il suffit de faire $\delta = 1$ dans les formules générales.

Si β tend vers zéro, on a

$$BC = K(b-d)^{1-\gamma-\lambda}(c-b)^{\gamma-1}\left[\frac{1}{\beta}+\Gamma'(1)-\frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma(\gamma)}+\log_e\frac{c-b}{c-a}+\frac{1-\lambda}{\gamma}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)+\frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\gamma(1+\gamma)}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2+\dots\right].$$

Si γ tend vers zéro,

$$BC = K(c-a)^{1-\beta-\lambda}(c-b)^{\beta-1}\left(\frac{1}{\gamma}+\Gamma'(1)-\frac{\Gamma'(\beta)}{\Gamma(\beta)}+\log_e\frac{c-b}{b-a}\right)-K(b-a)^{1-\lambda}(c-a)^{-\beta}(c-b)^{\beta-1}\left[\frac{1-\lambda}{\beta}\frac{c-b}{c-a}+\frac{1}{2}(1-\lambda)(2-\lambda)\left(\frac{1}{\beta}+\frac{1}{\beta+1}\right)\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2+\dots\right].$$

Dans certains cas, pour trouver des séries plus convergentes, on utilisera le changement de variable qui consiste à remplacer A, B, C par C, B, A.

On trouve, par exemple, si β tend vers zéro

$$AB = K(c-b)^{1-\alpha-\lambda}(b-a)^{\alpha-1}\left[\frac{1}{\beta}+\Gamma'(1)-\frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}+\log_e\frac{b-a}{c-a}+\frac{1-\lambda}{\alpha}\frac{b-a}{c-a}+\frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\alpha(1+\alpha)}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)^2+\dots\right].$$

On peut donc trouver toujours une série dont le module

$$\left(\frac{b-a}{c-a}\right) \text{ ou } \left(\frac{c-b}{c-a}\right)$$

est inférieur à un demi.

X. **Relation entre le flux et la variable auxiliaire**. — Nous venons de voir comment on évaluait les dimensions d'un contour de cinq ou de quatre côtés en fonction de deux ou d'une variables auxiliaires appartenant au plan t. Nous avons maintenant à examiner la relation entre $w = \psi + iv$ et t.

Les différents côtés qui constituent le contour étudié sont soit des lignes de force, soit des lignes équipotentielles.

Quand un point P (fig. 11) parcourt le contour LABCDL, la fonction w prend des valeurs constantes sur chaque côté et égales à ψ_1, ψ_2,... pour les lignes de force et v_1, v_2... pour les lignes équipotentielles.

Quand le point M correspondant parcourt l'axe $s = 0$ dans le plan t, la fonction w reprend la même valeur sur bc, par exemple, que sur BC.

Enfin, dans le plan W, le point R correspondant au point M décrit une horizontale quand le point M est sur une ligne équipotentielle et une verticale quand le

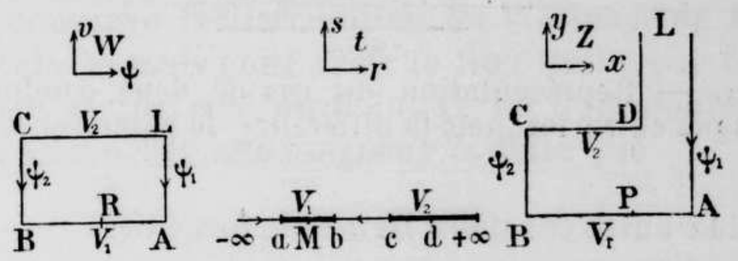


Fig. 11. — Représentation des contours parcourus par le point P, dans le plan Z, par le point M dans le plan t et par le point R, dans le plan W.

point M est sur une ligne de force, les abscisses des verticales étant ψ_1, ψ_2... et les ordonnées des horizontales v_1, v_2...

La correspondance entre w et t est donnée par la transformation de Schwarz-Christoffel.

Dans l'exemple de la figure 11

$$dv = K_1\,dt\,(t-a)^{-1/2}(t-b)^{-1/2}(t-c)^{-1/2}. \quad (6)$$

Les différents segments du plan W, qui représentent des différences de potentiel ou des flux, se calculent par les méthodes exposées ci-dessus, par exemple

$$A_1B_1 = \psi_2 - \psi_1 = K_1(c-a)^{-1/2}\pi\,F\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2};1;\frac{b-a}{c-a}\right),$$

$$B_1C_1 = v_2 - v_1 = K_1(c-a)^{-1/2}\pi\,F\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2};1;\frac{c-b}{c-a}\right).$$

Ces deux séries particulières sont celles qui donnent le développement des intégrales elliptiques complètes de première espèce, de module $\mathcal{R}$,

$$\mathcal{R}^2 = \frac{b-a}{c-a}\quad \mathcal{R}'^2 = 1-\mathcal{R}^2 = \frac{c-b}{c-a}.$$

Pour un grand nombre d'applications l'équation de Schwarz-Christoffel est intégrable ; nous donnons ci-dessous les expressions relatives au cas de deux conducteurs à des potentiels différents. Ces expressions sont d'un usage fréquent dans les applications.

1. Cas de deux conducteurs contigus présentant une différence de potentiel v_0. — On a (fig. 12)

$$dw = K_1\,dt\,\frac{1}{t-m}\,\frac{1}{t-n},\quad v_0 = K\pi\,\frac{1}{n-m},\quad m<n$$

$$w = v + i\psi = \frac{v_0}{\pi}\log_e\frac{t-n}{t-m}.$$

Pour $t = m - x$,

$$(\psi + iv)_{t=m-x} = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{n-m}{x},$$

quand x tend vers zéro;
pour $t = n + y$

$$(\psi + iv)_{t=n+y} = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{y}{n-m},$$

quand y tend vers zéro.

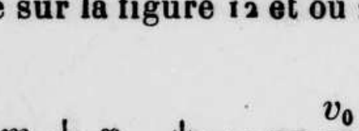


Fig. 12. — Représentation du cas de deux conducteurs contigus entre lesquels la différence de potentiel est v_0.

Le flux entre ces deux lignes de force est

$$\psi_{n+y} - \psi_{m-x} = \frac{v_0}{\pi} [\log_e x + \log_e y - 2 \log_e (n-m)].$$

Dans le cas particulier représenté sur la figure 13

$$dw = K_1 \frac{dt}{t-m}, \quad v_0 = K_1 \pi,$$

$$w = \psi + jv = \frac{v_0}{\pi} \log_e (t-m);$$

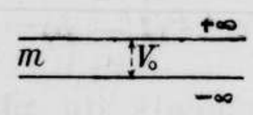


Fig. 13. — Représentation du cas particulier de celui représenté sur la figure 12 et où n est égal à l'infini.

pour $t = m + x$, $\psi_{m+x} = \frac{v_0}{\pi} \log_e x$;

pour t infini, $\psi_{t=\infty} = \frac{v_0}{\pi} \log_e t$.

2. Cas de deux conducteurs contigus d'un coté et séparés par une ligne de force de l'autre coté. — On a (fig. 14)

$$dw = K_1 dt \frac{1}{t-p} \frac{1}{\sqrt{t-m}} \frac{1}{\sqrt{t-n}}, \quad v_0 = K_1 \pi \frac{1}{\sqrt{p-m}\sqrt{p-n}}$$

$$w = \psi + iv = \frac{v_0}{\pi} \log_e \left(\sqrt{p-m}\sqrt{p-n} \right.$$

$$\left. \frac{\sqrt{t-m}\sqrt{t-n} - \sqrt{p-m}\sqrt{p-n}}{t-p} - p + \frac{m+n}{2} \right)$$

pour $t = m$, $(\psi + jv)_{t=m} = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{m-n}{2}$;

pour $t = n$, $(\psi + jv)_{t=n} = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{n-m}{2}$;

pour $t = p - x$,

quand x tend vers zéro,

$$(\psi + iv)_{t=p-x} = \frac{v_0}{\pi} \log_e \left[x \frac{(n-m)^2}{8(p-m)(p-n)} \right]$$

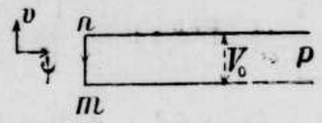


Fig. 14. — Représentation de deux conducteurs contigus d'un côté et séparés par une ligne de force de l'autre côté.

Le flux entre les lignes de force correspondant à m ou n et $p \pm x$ est

$$\psi_{p-x} - \psi_n = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{x(n-m)}{4(p-m)(p-n)}.$$

1° *Cas particulier de la figure 15.* — On a

$$dw = K_1 dt \frac{1}{\sqrt{t-m}} \frac{1}{\sqrt{t-n}}, \quad v_0 = K_1 \pi,$$

$$w = \psi + iv = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{2t - m - n + 2\sqrt{t-m}\sqrt{t-n}}{n-m};$$

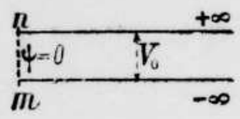


Fig. 15. — Représentation d'un cas particulier de celui représenté sur la figure 14 et où p est infini.

pour $t = m$, $(\psi + iv)_{t=m} = \frac{v_0}{\pi} \log_e (-1) = iv_0, \psi = 0$;

pour $t = n$, $(\psi + iv)_{t=n} = 0$;

pour t infini, $(\psi + iv)_t = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{4t}{n-m}$.

2° *Cas particulier de la figure 16.* — On a

$$dw = K_1 dt \frac{1}{t-p} \frac{1}{\sqrt{t-m}}, \quad v_0 = K_1 \pi \frac{1}{\sqrt{p-m}},$$

$$w = \psi + iv = \frac{v_0}{\pi} \log_e \left(2\sqrt{p-m} \frac{\sqrt{t-m} - \sqrt{p-m}}{t-p} - 1 \right);$$

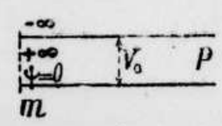


Fig. 16. — Représentation d'un cas particulier de celui représenté sur la figure 14 et où n est infini.

pour $t = m$ et $t = \pm \infty$, $\psi = 0$;

pour $t = p - x$, $(\psi + iv)_{t=p-x} = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{x}{4(p-m)}$.

XI. Calcul des flux. — Nous avons vu comment on calcule les longueurs des différents côtés d'un contour en fonction de certaines valeurs que prend une variable

auxiliaire t. Le paragraphe précédent permet de calculer les différences de potentiel et les flux en fonction de la même variable t; on est donc en mesure de calculer le flux issu d'un côté du contour après élimination de t.

XII. **Calcul des franges.** — Dans de nombreux cas, ce flux est infini; mais, à partir d'une certaine distance, les lignes de force tendent vers une figure géométrique simple, on est alors conduit à la notion de frange. Ceci se présente dans les deux cas étudiés au paragraphe X.

1. Cas de deux conducteurs contigus présentant une différence de potentiel, — De chaque côté le flux croît indéfiniment. Supposons le cas de la figure 17, β est positif. On a vu que

$$\psi = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{t-d}{t-b}$$

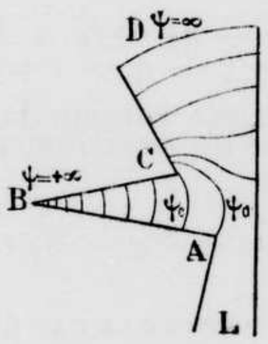


Fig. 17. — Représentation graphique de la répartition des flux, dans le cas représenté sur la figure 12, si β est positif.

et au voisinage du point B en posant $t - b = x$

$$\psi = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{d-b}{x}.$$

D'autre part, dans les mêmes conditions on a vu que

$$dz = K\,dx\,x^{\beta-1}(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\delta-1},$$

$$z = K\frac{x^\beta}{\beta}(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\delta-1} + \text{constante}.$$

Au voisinage du point B, on a donc, en remplaçant x par sa valeur

$$x = (d-b)\,e^{-\pi\frac{\psi}{v_0}},$$

$$z = \frac{K}{\beta}e^{-\beta\pi\frac{\psi}{v_0}}(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\beta+\delta-1} + \text{constante}.$$

La distribution des lignes de force est celle que nous avons envisagée au début (fig. 1), c'est-à-dire des arcs de cercle avec le point B pour centre.

Supposons maintenant que cette distribution soit conservée même à grande distance du point B :

Pour $\psi = +\infty$ correspondant à $t = b$, $Z =$ constante, en prenant le point B comme origine des distances dans le plan z la constante s'annule;
pour $\psi = \psi_c$ correspondant à $t = c$

$$\psi_c = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{d-c}{c-b}$$

on aurait

$$z_{\psi_c} = \frac{K}{\beta}\frac{(c-b)^{\beta+\gamma-1}}{(d-c)^\beta}(b-a)^{\alpha-1}(d-b)^{\beta+\delta-1};$$

mais, en réalité, on a la longueur BC.

On conserve la distribution du voisinage de B (arcs de cercles); mais pour avoir le flux limité par la ligne de force réelle issue du point C, on doit ajouter à BC ou en retrancher une longueur L_c telle que

$$z_{\psi_c} = \text{BC} + L_c.$$

Dans le cas actuel

$$L_c = \frac{K}{\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(d-c)^{-\beta}(b-a)^{\alpha-1}(d-b)^{\beta+\delta-}$$

$$-K(c-b)^{\beta+\gamma-1}(b-a)^{\alpha+\beta-1}(d-b)^{\delta-1}(c-a)^{-\beta}\frac{\Gamma\beta\Gamma\gamma}{\Gamma(\beta+\gamma)}$$

$$\left(1 + \frac{\beta}{\beta+\gamma}A + \ldots\right)$$

Considérons le cas important où β tend vers zéro, nous avons obtenu une expression de BC.

Cherchons de la même manière la limite de z_{ψ_c} l'angle α supposé variable est éliminé et remplacé par $3 - \beta - \gamma - \delta - \lambda$. On trouve

$$z_{\psi_c} = K(c-b)^{\gamma-1}(b-a)^{2-\gamma-\delta-\lambda}(d-b)^{\delta-1}$$

$$\left[\frac{1}{\beta} + \log_e \frac{(c-b)(d-b)}{(b-a)(d-c)}\right].$$

La frange L_c devient

$$L_c = K(c-b)^{\gamma-1}(b-a)^{2-\gamma-\delta-\lambda}(d-b)^{\delta-1}$$

$$\left[\log_e \frac{(c-a)(d-b)}{(b-a)(d-c)} - S - \Gamma'(1) + \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma(\gamma)}\right].$$

Cette expression indique que la frange tend vers une limite bien déterminée.

La distance des deux droites parallèles est

$$e = K\pi(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\delta-1},$$

en rapportant la frange à cette distance

$$\frac{L_c}{e} = \frac{1}{\pi}\left(\log_e \frac{(c-a)(d-b)}{(b-a)(d-c)} - S - \Gamma'(1) + \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma(\gamma)}\right].$$

On calculerait d'une manière analogue la frange L_a relative au flux limité par la ligne de force passant par le point A.

Supposons maintenant que β soit négatif comme dans le cas de la figure 18. On a encore

$$z = \frac{K}{\beta} e^{-\beta\pi\frac{\psi}{v_0}} (b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\beta+\delta-1} + \text{constante},$$

mais pour $\psi = +\infty$, $t = b$, z est infini.

Si on prolonge la distribution des lignes de force en arc de cercle jusqu'en S, ce qui correspond à $\psi = -\infty$, on a pour $\psi = -\infty$, $z =$ constante.

La constante s'annule, si on prend S comme origine des longueurs. On calculera la frange relative à la

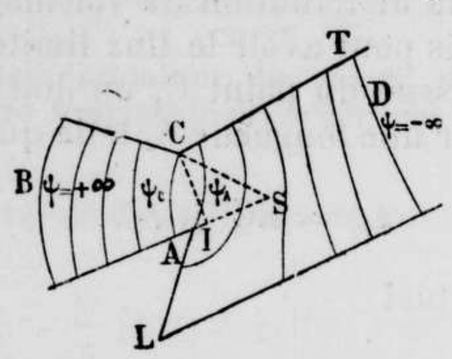


Fig. 18. — Représentation graphique de la répartion du flux, dans le cas représenté sur la figure 12, si β est négatif.

ligne de force issue de C comme dans le cas précédent

$$L_c = z_{\psi_c} - SC.$$

On a

$$SC = \frac{CI}{\sin\beta\pi}$$

et on sait calculer la longueur CI perpendiculaire à SA.

En ce qui concerne le second point D pour lequel le flux augmente indéfiniment, le calcul des franges se fait de la même manière.

2. Cas de deux conducteurs contigus d'un côté séparés par une ligne de force de l'autre côté. — Le flux ne croît indéfiniment que d'un seul côté. Soit, par exemple, le cas de la figure 19. DL est une ligne de force. On a

$$w = \psi + iv = \frac{v_0}{\pi}\log_e\left(2\sqrt{b-d}\,\frac{\sqrt{t-d}-\sqrt{b-d}}{t-b} - 1\right);$$

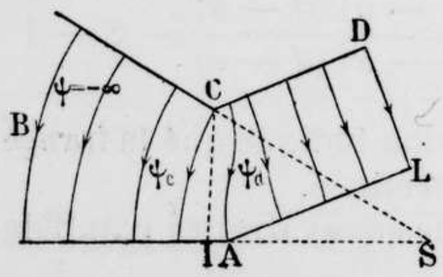


Fig. 19. — Représentation graphique de la répartition du flux, dans le cas représenté sur la figure 14, si β est négatif.

au voisinage du point B

$$t - b = x, \quad \psi = \frac{v_0}{\pi}\log_e\frac{x}{4(d-b)}.$$

D'autre part, on a vu que

$$z = K\frac{x^\beta}{\beta}(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\delta-1} + \text{constante}$$

en remplaçant x par sa valeur

$$z = \frac{K}{\beta}e^{\beta\frac{\pi}{v_0}\psi}4^\beta(b-d)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\beta+\delta-1} + \text{constante}.$$

Comme dans le premier cas, on suppose que cette distribution se conserve au voisinage des points A et C; comme β est négatif, $z = 0$, ce qui correspond à $\psi = +\infty$. La constante s'annule quand le point S est pris pour origine des longueurs.

Pour la ligne de force ψ_c correspondant à $t = c$

$$\psi_c = \frac{v_0}{\pi}\log_e\left(2\sqrt{b-d}\,\frac{\sqrt{c-d}-\sqrt{b-d}}{c-b} - 1\right)$$

et on aurait

$$z_{\psi_c} = \frac{K}{\beta}\left(2\sqrt{b-d}\,\frac{\sqrt{c-d}-\sqrt{b-d}}{c-b} - 1\right)^\beta 4^\beta$$
$$(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1}(d-b)^{\beta+\delta-1}.$$

On calculera la frange comme dans le premier cas, quand β est négatif

$$L_c = z^{\psi}{}_c - SC.$$

3. Calcul des franges dans le cas dun contour a quatre côtés. — Considérons maintenant le cas particulier d'un contour ne présentant que quatre côtés. Dans le cas de la figure 20,

$$\psi = \frac{v_0}{\pi}\log_e(t-b).$$

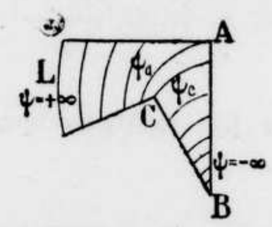


Fig. 20. — Représentation graphique de la répartition du flux dans le cas d'un contour à quatre côtés.

au voisinage du point B

$$z = K\frac{e^{\beta\pi\frac{\psi}{v_0}}}{\beta}(b-a)^{\alpha-1}(c-b)^{\gamma-1};$$

pour $\psi = -\infty$, $z = 0$, le point B est pris pour origine, en conservant la distribution du voisinage du point B (lignes de force en arc de cercle), on a :
pour la ligne de force issue de C

$$\psi_c = \frac{v_0}{\pi}\log(c-b),$$

$$z_{\psi_c} = \frac{K}{\beta}(c-b)^{\beta+\gamma-1}(b-a)^{\alpha-1};$$

pour la ligne de force issue de A

$$\psi_a = \frac{v_0}{\pi} \log (b - a),$$

$$z_{\psi_a} = \frac{K}{\beta} (b - a)^{\alpha+\beta-1} (c - b)^{\gamma-1}.$$

On sait, d'autre part, calculer les longueurs BC et BA ; on sait donc calculer les différentes franges qu'on veut considérer :

Pour la ligne de force issue de C

$$L_c = z_{\psi_c} - \mathrm{BC} \quad \text{ou} \quad L'_c = z_{\psi_c} - \mathrm{AB};$$

pour la ligne de force issue de A,

$$L_a = z_{\psi_a} - \mathrm{BC} \quad \text{ou} \quad L'_a = z_{\psi_a} - \mathrm{AB}.$$

Considérons maintenant le cas où β tend vers zéro. On a trouvé une valeur limite de BC en éliminant l'angle α variable,

$$\alpha = 2 - \beta - \gamma - \lambda.$$

Dans les mêmes conditions on trouve

$$z_{\psi_c} = \frac{K}{\beta} (c - b)^{\gamma-1} (b - a)^{1-\gamma-\lambda} \left(1 + \beta \log_e \frac{c - b}{b - a}\right),$$

$$z_{\psi_a} = \frac{K}{\beta} (b - a)^{1-\gamma-\lambda} (c - b)^{\gamma-1}.$$

Les franges deviennent

$$L_c = z_{\psi_c} - \mathrm{BC} = K (c-b)^{\gamma-1} (b-a)^{1-\gamma-\lambda}$$

$$\left[\log_e \frac{c-a}{b-a} - \Gamma'(1) + \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma\gamma} - \frac{1-\lambda}{\gamma}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)\right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\gamma(1+\gamma)}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2 - \cdots\right],$$

$$L_a = z_{\psi_a} - \mathrm{BC} = K (c-b)^{\gamma-1} (b-a)^{1-\gamma-\lambda}$$

$$\left[\log_e \frac{c-a}{c-b} - \Gamma'_1 + \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma\gamma} - \frac{1-\lambda}{\gamma}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)\right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\gamma(1+\gamma)}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2 - \cdots\right].$$

Nous avons trouvé de même une valeur limite de AB en éliminant l'angle γπ ; par un calcul analogue au précédent on trouve

$$L'_c = z_{\psi_c} - \mathrm{AB} = K (c-b)^{1-\alpha-\lambda} (b-a)^{\alpha-1}$$

$$\left[\log_e \frac{c-a}{b-a} - \Gamma'(1) + \frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} - \frac{1-\lambda}{\alpha}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)\right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\alpha(1+\alpha)}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)^2 - \cdots\right]$$

et

$$L'_a = z_{\psi_a} - \mathrm{AB} = K (c-b)^{1-\alpha-\lambda} (b-a)^{\alpha-1}$$

$$\left[\log_e \frac{c-a}{c-b} - \Gamma'(1) + \frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} - \frac{1-\lambda}{\alpha}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)\right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\alpha(1+\alpha)}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)^2 - \cdots\right].$$

Grâce à ces deux groupes de formules, on est assuré de trouver une série dont le module $\frac{b-a}{c-a}$ ou $\frac{c-b}{c-a}$ soit inférieur à un demi.

Considérons maintenant le cas de la figure 21

$$w = \psi + iv = \frac{v_0}{\pi} \log_e \left(2\sqrt{b-a}\,\frac{\sqrt{t-a} - \sqrt{b-a}}{t-b} - 1\right);$$

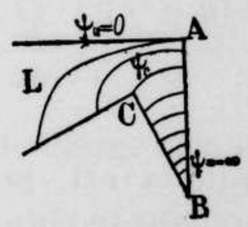


Fig. 21. — Représentation graphique de la répartition du flux dans le cas d'un contour à quatre côtés et où $\psi_a = 0$.

pour $t - b = x$,

$$\psi = \frac{v_0}{\pi} \log_e \frac{x}{4(b-a)}.$$

On a donc au voisinage de B

$$z = K \frac{e^{\beta\pi\frac{\psi}{v_0}}}{\beta} 4^{\beta} (b-a)^{\alpha+\beta-1} (c-b)^{\gamma-1};$$

pour $\psi = -\infty$, $z = 0$, le point B est pris pour origine.

Pour la ligne de force issue de A, $\psi_a = 0$, on a donc

$$z_{\psi_a} = \frac{K}{\beta} 4^{\beta} (b-a)^{\alpha+\beta-1} (c-b)^{\gamma-1}.$$

La frange pour la ligne de force issue de A est

$$L_a = z_{\psi_a} - \mathrm{BC} \quad \text{ou} \quad L'_a = z_{\psi_a} - \mathrm{AB}.$$

Si β tend vers zéro on a

$$L_a = K (c-b)^{\gamma-1} (b-a)^{1-\gamma-\lambda} \left[\log_e 4\,\frac{c-a}{c-b} - \Gamma'(1)\right.$$

$$\left. + \frac{\Gamma'(\gamma)}{\Gamma(\gamma)} - \frac{1-\lambda}{\gamma}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)\right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\gamma(1+\gamma)}\left(\frac{c-b}{c-a}\right)^2 - \cdots\right],$$

$$L'_a = K(c-b)^{1-\alpha-\lambda}(b-a)^{\alpha-1}$$

$$\left[\log_e 4\,\frac{c-a}{c-b} - \Gamma'(1) + \frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} - \frac{1-\lambda}{\alpha}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)\right.$$

$$\left. - \frac{1}{2}\frac{(1-\lambda)(2-\lambda)}{\alpha(1+\alpha)}\left(\frac{b-a}{c-a}\right)^2\right.$$

On choisira la série dont le module est inférieur à un demi.

En résumé, de même que nous savons calculer les dimensions d'un contour, nous savons calculer les franges, en fonction des valeurs de la variable auxiliaire t.

XIII. **Etude de la répartition au voisinage d'un point.** — Reprenons la formule fondamentale du début, en posant $t - a = x$, on a vu que

$$z = K\frac{x^\alpha}{\alpha}(a-b)^{\beta-1}(a-c)^{\gamma-1}(a-d)^{\delta-1} = KA\frac{x^\alpha}{\alpha}$$

$+$ constante.

Dans le cas étudié α est positif, pour $x = 0$, $z =$ constante ; en prenant le point A pour origine, la constante est nulle.

On tire de là

$$x = \left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha} z^{1/\alpha}.$$

En coordonnées polaires,

$$z = \rho(\cos\varphi + i\sin\varphi) = \rho\, e^{i\varphi},$$

donc

$$x = \left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}\rho^{1/\alpha}\left(\cos\frac{\varphi}{\alpha} + i\sin\frac{\varphi}{\alpha}\right);$$

pour $\varphi = 0$

$$x = \left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}\rho^{1/\alpha},$$

réel et positif ;
pour $\varphi = \alpha\pi$

$$x = -\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}\rho^{1/\alpha}$$

réel et négatif.

Considérons maintenant le diagramme w

$$dw = K_1\,dt\,(t-m)^{\mu-1}(t-n)^{\nu-1}\ldots$$

deux cas se présentent :

1° Le point A est sur une surface équipotentielle. Dans ce cas pour $t = a + x$

$$dw = K_1\,dx\,(a-m)^{\mu-1}(a-n)^{\gamma-1}\ldots;$$

en intégrant

$$w = \psi + iv = K_1\,x\,(a-m)^{\mu-1}(a-n)^{\nu-1}\ldots = Qx.$$

Pour $x = 0$, $w = 0$ le point A est donc pris pour origine des potentiels et des lignes de force

Remplaçons x par sa valeur en fonction de z, il vient

$$\psi + iv = Q\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}\rho^{1/\alpha}\left(\cos\frac{\varphi}{\alpha} + i\sin\frac{\varphi}{\alpha}\right).$$

La distribution des lignes de force est celle que nous avons considérée au début et qui est représentée par la figure 2 b.

Pour $\varphi = 0$ et $\varphi = \alpha\pi$ le potentiel est $v = 0$.

Pour

$$\varphi = \frac{\alpha\pi}{2},\ \psi = 0$$

et

$$v = Q\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}\rho^{1/\alpha}.$$

Le gradient est

$$\frac{dv}{d\rho} = \frac{1}{\alpha}\rho^{\frac{1}{\alpha}-1}\,Q\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}.$$

Cas particulier. — Supposons deux conducteurs présentant une différence de potentiel v_0 (fig. 12).

$$dw = K_1\,dt\,\frac{1}{t-m}\,\frac{1}{t-n}, \qquad v_0 = K_1\pi\,\frac{1}{n-m}$$

pour $t = a + x$

$$w = \frac{v_0}{\pi}\,\frac{n-m}{(a-m)(a-n)}\,x = Qx$$

il vient

$$\frac{dv}{d\rho} = \frac{1}{\alpha}\rho^{\frac{1}{\alpha}-1}\,\frac{v_0}{\pi}\,\frac{n-m}{(a-m)(a-n)}\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{1/\alpha}.$$

Pour un angle α donné, on aura donc la même distribution au voisinage du point A si

$$v_0\,\frac{n-m}{(a-m)(a-n)}\left(\frac{1}{KA}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \text{constante},$$

ou

$$v_0 = \text{constante}\,\frac{(a-m)(a-n)}{(n-m)}\,K^{\frac{1}{\alpha}}A^{\frac{1}{\alpha}},$$

formule utile pour les problèmes de contrainte des diélectriques.

Dans le cas où le point A est à un sommet commun à une ligne de force et à une ligne équipotentielle, on a

$$dw = K_1 dt\,(t-a)^{-\frac{1}{2}}(t-m)^{\mu-1}(t-n)^{\nu-1}\ldots;$$

pour $t = a + x$,

$$dw = K_1 dx\,x^{-\frac{1}{2}}(a-m)^{\mu-1}(a-n)^{\nu-1}\ldots = Qx^{-\frac{1}{2}}dx;$$

en intégrant

$$w = 2Qx^{\frac{1}{2}}.$$

Remplaçons x par sa valeur

$$w = \psi + iv = 2Q\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{\frac{1}{2\alpha}} \rho^{\frac{1}{2\alpha}} \left(\cos\frac{\varphi}{2\alpha} + i\sin\frac{\varphi}{2\alpha}\right);$$

pour $\varphi = 0, \quad v = 0,$

pour $\varphi = \alpha\pi, \quad \psi = 0, \quad v = 2Q\left(\frac{\alpha}{KA}\right)^{\frac{1}{2\alpha}} \rho^{\frac{1}{2\alpha}}.$

La distribution des lignes de force est celle du cas précédent pour un angle double.

XIV. **Conclusion**. — Dans les formules que nous avons données, nous avons fait figurer les différentes valeurs a, b, c, d pour des raisons d'homogénéité; mais on doit se rappeler que deux de ces valeurs au choix sont arbitraires et peuvent être prises égales à 0, 1, ou tout autre nombre; l'écriture est alors très simplifiée.

Dans le cas le plus général d'un contour à quatre côtés nous n'avons plus qu'une valeur auxiliaire unique en fonction de laquelle nous pouvons calculer, d'une part, les dimensions des différents éléments du contour et, d'autre part, les franges, les résistances ou les réluctances et les différences de potentiel donnant un même gradient sur une arête donnée.

Dans le cas d'un contour à cinq côtés, nous avons deux variables auxiliaires. Ce n'est que dans quelques cas particuliers qu'on peut trouver directement les caractéristiques électriques ou magnétiques (franges, etc.) quand on se donne les dimensions.

En général, on doit partir de la variable auxiliaire, ce qui ne présente aucun inconvénient quand il s'agit de tracer une courbe des caractéristiques électriques ou magnétiques en fonction des dimensions.

Gabriel-Henri Perrin.
Ingénieur E. P. C. I., Ingénieur à la Société générale de Constructions électriques et mécaniques (Als-Thom),

ANNEXE

Fonction gamma. — Les valeurs de $\Gamma(x)$ pour x compris entre 1 et 2 sont données par le tableau I; pour les autres valeurs de x on utilisera la relation

$$\Gamma(x+1) = x\Gamma(x).$$

Les valeurs particulières remarquables sont

$$\Gamma(1) = 1, \quad \Gamma(2) = 1, \quad \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}, \quad \Gamma\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{1}{2}\sqrt{\pi}.$$

Les valeurs de $\frac{\Gamma'(x)}{\Gamma(x)}$ pour x compris entre 1 et 2 sont données également par le tableau I.

Tableau I. — *Valeurs de la fonction $\Gamma(x)$ et de sa dérivée logarithmique pour x compris entre 1 et 2.*

x	$\Gamma(x)$	$\frac{\Gamma'(x)}{\Gamma(x)}$
1	1,0000	— 0,5772
1,1	0,9514	— 0,4238
1,2	0,9182	— 0,2890
1,3	0,8975	— 0,1692
1,4	0,8873	— 0,06138
1,5	0,8862	+ 0,03649
1,6	0,8935	+ 0,1260
1,7	0,9086	+ 0,2085
1,8	0,9314	+ 0,2850
1,9	0,9618	+ 0,3562
2	1,0000	+ 0,4228

Pour les autres valeurs de x on a

$$\frac{\Gamma'(x+1)}{\Gamma(x+1)} = \frac{1}{x} + \frac{\Gamma'(x)}{\Gamma(x)}.$$

Les valeurs particulières remarquables sont

$$\frac{\Gamma'(1)}{\Gamma(1)} = -0{,}57722 \text{ (constante d'Euler)},$$

$$\frac{\Gamma'\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} = \frac{\Gamma'(1)}{\Gamma(1)} - 2\log_e 2.$$

G.-H. P.

Bibliographie.

Christoffel. *Annali di Matematica*, 1867, t. 1.

Schwarz. *Crelle*, 1869, t. LXX.

J.-Clerk Maxwell. *Traité d'Electricité et de Magnétisme* (traduction Seligmann-Lui), édité par la librairie Gauthier-Villars, à Paris.

A. Potier. *Etude sur un électromètre absolu*, annexe au tome II du *Traité d'Electricité et de Magnétisme*, de Maxwell (1885).

J.-J. Thomson. *Recent researches in electricity and magnetism*, Oxford (1893).

F.-W. Carter; Note on air gap and interpolar induction. *The Journal of the Institution of electrical Engineers*, 1900, t. XXIX, p. 925 et *Electrical World*, 30 novembre 1901, t. XXXVIII, p. 884-888.

L'Industrie électrique, 10 et 25 novembre et 10 décembre 1901, t. X, p. 493-495, 516 et 539.

F.-W. Carter; The magnetic field of the dynamo-électric machine. *The Journal of the Institution of electrical Engineers*, novembre 1926, t. LXIV, p. 1 115-1 138; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 12 mars 1927, t. XXI, p. 85 D.

L. Dreyfuss. *Archiv für Elektrotechnik*, 1924, t. XIII; résumé dans *Elektrotechnische Zeitschrift*, 26 avril 1925, t. XLVI, p. 321-322.

R.-T. Coe et H.-W. Taylor; Some problems in electrical machine design involving elliptic functions. *The philosophical Magazine*, juillet 1928, t. VI (7e série), p. 100-145; résumé dans la *Revue générale de l'Electricité*, 29 septembre 1928, t. XXIV, p. 108 D.

Revues, analyses et informations

La décharge en couronne (1).

L'objet de ce travail est de passer en revue les conceptions existantes sur la nature, le mécanisme et les effets de la décharge en couronne sur la transmission de l'énergie électrique à tension élevée.

1. L'effet de couronne. — Lorsqu'une différence de potentiel continue ou alternative est appliquée entre deux conducteurs cylindriques, il existe à la surface des fils un gradient de potentiel de valeur élevée et, lorsque celui-ci devient suffisamment grand, l'air environnant le conducteur est traversé par la décharge disruptive. Si cependant la différence de potentiel appliquée croît graduellement, bien avant que l'étincelle se produise, on entend un bruissement, une sorte de sifflement, et, si l'obscurité est suffisante, on perçoit une lueur violet pâle entourant le conducteur. Un nouvel accroissement de la différence de potentiel agrandit la région lumineuse et si l'on insère un wattmètre sur le circuit, on observe une perte d'énergie, qui croît très rapidement lorsque la différence de potentiel croît. La lueur s'étale alors de plus en plus autour du conducteur, jusqu'à ce qu'une étincelle éclate entre les fils.

Le terme de couronne a diverses acceptions, selon les auteurs. D'ordinaire il s'applique à la lueur ou à la décharge en aigrettes qui se produit quand le champ électrique est assez intense. Selon quelques auteurs, cependant, la couronne correspond seulement à l'aigrette, tandis que d'autres, emploient ce mot pour désigner toute décharge disruptive partielle dans l'air c'est-à-dire les décharges sous forme de lueur continue ou d'aigrette, ou même les décharges invisibles.

La couronne s'accompagne toujours de production d'ozone, dont l'odeur se perçoit aisément, et parfois de composés oxygénés de l'azote.

Il y a une différence nette entre la forme de la décharge autour du conducteur positif et autour du négatif. La décharge positive se présente comme une lueur continue blanc bleuâtre, qui s'étend à une distance du conducteur déterminée par sa courbure, par le champ électrique et par la pression atmosphérique. Sur les conducteurs négatifs, la lueur s'étend en chapelet, le long du conducteur, sous la forme de houppes rougeâtres plus ou moins uniformément espacées. Lorsqu'on examina au stroboscope la couronne en courant alternatif, de telle sorte que chaque conducteur soit toujours aperçu au même instant de la période, on constate qu'elle a exactement le même aspect qu'en courant continu.

2. L'ionisation de l'air. — On sait que normalement l'air est isolant. Sous des influences bien connues, il devient conducteur et il est aujourd'hui démontré que cette conductibilité est due à l'existence dans l'air de particules électrisées, respectivement positives et négatives, qui sont les ions.

L'expérience a montré qu'il existe toujours un certain nombre d'ions libres dans l'atmosphère. Quand de faibles différences de potentiel sont appliquées entre deux conducteurs, quelques ions libres de l'air se mettent en mouvement, et l'on peut déceler un courant au moyen d'un électromètre sensible : il est de l'ordre de 10^{-15} ampère, par exemple. Si l'on augmente graduellement la différence de potentiel, l'intensité du courant croît d'abord proportionnellement à cette différence de potentiel, donc en conformité avec la loi d'Ohm. Puis, le courant se met à croître plus lentement que la différence de potentiel, et l'on parvient bientôt à un état où l'intensité de courant reste à peu près constante pour de grandes variations de la différence de potentiel. On dit alors qu'il y a saturation.

Lorsqu'on exécute l'expérience avec des électrodes planes et parallèles, le courant de saturation dépend de l'intensité de l'ionisation de l'air compris dans l'intervalle qui les sépare. Si l'ionisation a lieu dans tout le volume de cet air, le courant de saturation est d'autant plus intense que la distance entre les électrodes est plus grande, de sorte que la façon dont se comporte l'air conducteur est très différente de celle d'un métal ou d'un électrolyte. Si l'on fait enfin croître la différence de potentiel de manière à réaliser un champ assez intense pour ioniser l'air, une troisième phase se produit, au cours de laquelle le courant croît très rapidement en fonction de la différence de potentiel, et les effets lumineux bien connus de couronne et d'étincelle apparaissent. Ces derniers phénomènes sont dus à l'ionisation par chocs : lorsque le champ est assez intense, les ions prennent des vitesses suffisantes pour diviser à leur tour en ions les molécules neutres rencontrées; les ions formés prennent aussitôt part à cette action, et l'on a, dès lors, une multiplication extrêmement rapide des ions. Il se réalise donc un état instable, caractérisé par une croissance rapide du courant et par l'apparition des phénomènes lumineux. Tel est vraisemblablement le mécanisme de formation de la couronne.

3. Le champ dans la couronne. — La couronne a surtout été étudiée dans le cas d'un fil et d'une électrode cylindrique coaxiale. En explorant le champ intermédiaire, on constate l'existence d'une chute rapide de potentiel près de la surface du fil, donc d'un champ intense dans la couche d'air en contact avec elle. Autour de cette région de champ intense, il existe un grand volume où le potentiel est à peu près constant. Près du cylindre, le potentiel est constant, donc le champ nul.

On a étudié de divers côtés le champ critique correspondant à l'apparition de la couronne dans le cas de fils parallèles; ce champ est donné par la formule empirique

$$h = 30\left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{r}}\right), \text{ en kilovolts par centimètre,}$$

r étant le rayon du fil, en centimètres.

Il est à noter du reste que l'état de la surface du fil a une grande influence sur la formation de la couronne aux potentiels élevés.

La couronne se forme difficilement sur les sphères.

La première décharge qui apparaît entre une pointe et une autre électrode est une décharge obscure. Quand la différence de potentiel est assez élevée, cette décharge se transforme en une couronne qui peut ne pas être stable. Ainsi, si la pointe est trop près de l'électrode opposée, la décharge est intermittente, et des aigrettes apparaissent. L'auteur a trouvé que les différences de potentiel néces-

(1) H.-A. Gould. *Journal of the Franklin Institute*, avril 1930, t. CCIX, p. 485-501, 4 000 mots, 5 figures.

saires pour l'apparition de la couronne sont d'autant plus faibles que les pointes sont plus fines, et que ces différences de potentiel sont moindres pour des pointes à l'extrémité aplatie que pour celles à extrémité arrondie, en raison d'une plus grande concentration de flux au niveau des arêtes.

Au total, on voit que le gradient du potentiel donnant lieu à l'effet de couronne ne dépend que de la courbure de la surface sur laquelle le phénomène se manifeste.

4. Les pertes d'énergie par effet de couronne. — Les pertes d'énergie dues à l'effet de couronne sont encore assez mal connues. Les conditions atmosphériques y jouent un rôle important et l'humidité accroît considérablement l'importance de ces pertes. La pluie a un effet très marqué, des lueurs et des aigrettes se produisant lorsque le fil est mouillé. Le vent n'a pas d'effet, mais la fumée produit une légère augmentation des pertes; la neige a un effet plus marqué encore. Enfin, il semble que l'emploi des hautes fréquences diminue les pertes aux potentiels élevés. — L. B.

Sur les phénomènes survenant dans la région cathodique de l'arc dans le vide (1)

1. Introduction. — Une série d'expériences faites par l'auteur en 1929 sur l'arc électrique dans le vide, c'est-à-dire passant dans de l'air à la pression de quelques baryes, ont montré que la cathode d'un tel arc émet un jet de vapeur animé d'une grande vitesse. Les expériences dont il est rendu compte dans le présent travail ont précisément pour but d'obtenir des renseignements quantitatifs sur ces vitesses et, en particulier, de calculer les températures correspondant à ces dernières

2. Description des expériences. — On peut obtenir un arc électrique, même dans un vide très élevé, en séparant deux tiges métalliques tout d'abord au contact et livrant passage à un courant d'une intensité de quelques ampères. L'arc s'établit tout d'abord dans la vapeur émise par le métal au point du dernier contact, et il peut se maintenir par la vapeur qui, après que le contact est rompu, continue à être émise par la surface du métal.

Un certain nombre d'expériences préliminaires ont suggéré que la surface de la cathode émet un jet de vapeur métallique de vitesse considérable. La connaissance de cette dernière n'est pas seulement importante au point de vue de l'évaluation de la température dans la région de la cathode; elle permettra aussi de se faire une idée plus précise des conditions qui règnent en général dans l'arc dans le vide. En conséquence, l'auteur a entrepris des recherches basées sur les expériences suivantes :

1° Mesure de la réaction de la cathode émettant la vapeur. La connaissance de la masse de métal évaporée par seconde permet aisément le calcul de la vitesse;

2° Détermination de la quantité de mouvement communiquée par la vapeur à une vanne suspendue en face de la cathode. Connaissant la masse de vapeur condensée par seconde sur la vanne, on peut encore calculer la vitesse.

Dans la mise en œuvre de la première méthode, une cathode de cuivre est fixée à une lame d'aluminium, elle-même suspendue à deux fils fins de molybdène. La pression varie entre 0,25 barye, au début, et 13 baryes à la fin de la mesure. Le courant arrive à la cathode par un fil de fer fin plongeant dans une goutte de mercure. La cathode est ainsi suspendue de façon à pouvoir osciller librement dans un plan vertical perpendiculaire à sa surface. La déviation est mesurée sur une échelle située au-dessous de la cathode. L'instrument est étalonné au préalable de façon à établir la correspondance entre la force agissant sur la surface de la cathode et sa déviation. L'arc est obtenu en établissant le contact entre l'anode et la cathode. Aussitôt après, l'anode est éloignée à 1,5 mm de la cathode. La déviation de la cathode pendant le passage de l'arc est très grande et tout à fait constante; elle peut donc être mesurée avec une précision satisfaisante sur l'échelle disposée à cet effet.

Pour obtenir la masse de métal vaporisé dans un temps donné, on a exécuté une série d'essais dans les mêmes conditions en pesant la cathode avant et après chaque essai et en notant, en outre, la durée de passage de l'arc.

En raison des conditions dans lesquelles ces mesures sont faites, il est évident qu'il y a lieu de tenir compte d'autres actions possibles sur la cathode : actions radiométriques, électrodynamiques et électrostatiques. Ces divers facteurs ont été soigneusement discutés par l'auteur. Les forces de réaction ainsi obtenues sont comprises entre 200 dynes et 500 dynes, pour des intensités de courant elles-mêmes comprises entre 11 A et 32 A. Ces résultats conduisent à une vitesse de la vapeur comprise entre 16×10^5 cm : s et 13×10^5 cm : s. Ces valeurs sont très élevées et très supérieures à celles correspondant aux températures couramment admises, et c'est ce qui a conduit l'auteur à contrôler ces résultats par une autre méthode. C'est celle dont le principe a été donné plus haut.

Cette deuxième méthode comporte l'emploi d'une petite vanne en verre, en face de laquelle on peut placer la cathode (rendue mobile au moyen d'un dispositif approprié) lorsque le régime normal de l'arc s'est établi. La vanne de verre est suspendue à deux fils fins en soie. Sa déviation est lue directement sur une échelle et l'on en déduit la force qui s'exerce sur la vanne, grâce à un étalonnage préalable.

La présence du jet de vapeur très rapide émanant de la cathode était rendue évidente non seulement par l'écart déterminé de la vanne, mais pouvait être perçu directement sous la forme d'un cône bien défini, faiblement lumineux, s'étendant de la tache cathodique à la vanne. La masse de vapeur émise en un temps donné s'obtient immédiatement par pesée de la vanne, avant et après l'expérience. Les vitesses obtenues dans ces conditions varient entre 21×10^5 cm : s et 20×10^5 cm : s pour des intensités de courant comprises entre 14 et 18 A.

3. Calcul des températures correspondant aux vitesses mesurées. — La connaissance de la vitesse avec laquelle la vapeur métallique traverse la région cathodique permet de calculer au moins l'ordre de grandeur de la température au niveau de la cathode, en se servant de la relation bien connue entre l'énergie cinétique moyenne des molécules d'un gaz et la température absolue du gaz. L'auteur considère comme justifié d'employer dans le cas présent l'équation valable pour une molécule à trois degrés de liberté

$$\frac{1}{2}\mu v^2 = \frac{2}{3} k T, \qquad (1)$$

où μ est la masse des molécules du gaz en grammes, v^2, le carré moyen de la vitesse des molécules, exprimée en centimètres par seconde, k, la constante de Boltzmann, en ergs par degré et T, la température absolue. Les températures ainsi obtenues varient entre 700 000°K et 400 000°K, pour des intensités de courant comprises entre 11 A et 32 A. Ces

(1) R. Tanberg. *The physical Review*, 1er mai 1930, t. xxxv (2e série), p. 1 080-1 089, 2 000 mots, 4 figures.

températures, on le voit, dépassent de beaucoup les plus extrêmes températures qui aient jamais été mesurées au cours d'un phénomène physique de quelque durée. Il convient toutefois de ne pas oublier que l'espace voisin de la cathode d'un arc électrique constitue un très petit volume, qui subit un apport d'énergie considérable. Un cas similaire se retrouve dans les très intéressantes expériences d'Anderson sur les fils métalliques qui explosent électriquement, expériences durant lesquelles il obtint des températures estimées égales à 300 000°C.

Ainsi, l'on peut admettre que la température au niveau de la tache cathodique est de l'ordre de 500 000°K. Si cette température extrêmement élevée se confirme, nos idées actuelles sur les phénomènes qui ont lieu à la cathode d'un arc dans le vide devront être certainement modifiées. La région cathodique nous offrirait alors le moyen d'étudier les propriétés de la matière à des températures de l'ordre de celles que l'on est conduit à admettre à l'intérieur des étoiles. — L. B.

Sur l'obtention d'hydrogène très pur et en quantités notables à l'aide d'un osmorégulateur électrolytique à palladium.

Dans une note présentée sous ce titre par M. Jean Perrin, à la séance du 16 juillet 1930 de l'Académie des Sciences, M. Horia Hulubei a décrit l'appareil dont il s'est servi pour obtenir de l'hydrogène très pur, après avoir exposé les considérations qui l'ont conduit à la création de son dispositif. Voici le texte de cette note (1) :

Ayant à préparer pour mes travaux de l'hydrogène tout à fait pur et en quantités notables, je suis arrivé à une méthode simple et pratique qui, à ma connaissance, n'a pas encore été employée. J'ai mis à profit les propriétés, depuis longtemps connues, du palladium d'absorber des quantités considérables d'hydrogène et de se laisser traverser facilement par ce gaz. Malgré le grand nombre de travaux sur les pressions d'équilibre du système palladium et hydrogène, sur les vitesses de diffusion en fonction de la pression et de la température, sur les propriétés magnétiques du système, son analyse par les rayons X, etc., on ne peut se rendre compte, d'une manière précise, de l'ensemble du phénomène, les résultats et les conclusions étant le plus souvent contradictoires. D'après les travaux de A. Holt, E.-C. Edgar et J.-B. Firth (2), il paraît très probable que l'occlusion de l'hydrogène dans le palladium commence par une adsorption rapide à la surface du métal, donnant naissance à une couche à grande pression d'équilibre, et dont le gaz peut être très facilement enlevé dans le vide, adsorption suivie d'une diffusion plus lente vers l'intérieur du métal, la distribution de l'hydrogène y étant sans doute non homogène, au moins pour les premiers temps de l'occlusion.

Ces assertions paraissent être en accord avec mes expériences. On sait qu'on peut emprisonner dans un volume donné de palladium des quantités énormes d'hydrogène par la méthode de l'électrolyse. Il faut admettre que le gaz diffuse à l'intérieur du métal. On pouvait donc espérer pouvoir introduire de l'hydrogène dans une enceinte, en faisant absorber préalablement ce gaz, par électrolyse, dans la masse d'un osmorégulateur en palladium en communication avec cette enceinte où régnerait une pression partielle en hydrogène nulle ou très petite. En effet, je trouve que quelque temps après le commencement de l'électrolyse, de l'hydrogène diffuse dans l'espace vide. A la température ordinaire la quantité dégagée est très petite. Très probablement le gaz diffuse à travers la paroi du tube jusqu'à sa surface intérieure où il s'agglomère, en partie, en une couche assez peu stable à la chaleur, retenue par les forces de surface, couche certainement en équilibre avec le gaz occlus dans la masse du métal.

Les expériences m'ont montré que si l'on chauffe légèrement le tube on peut faire pénétrer, très facilement, à l'intérieur de l'enceinte, une quantité considérable de l'hydrogène ainsi occlus dans l'osmorégulateur et répartie vraisemblablement dans sa masse comme nous venons de le dire. L'approche d'une toute petite flamme suffit pour que ce dégagement ait lieu. Si l'on chauffe un peu plus le tube. par contact direct avec la flamme, on voit qu'une partie de l'hydrogène occlus, au moins celui formant la couche adsorbée à l'extérieur, brûle, tandis que des quantités, encore plus grandes, d'hydrogène pénètrent dans l'enceinte.

Voici quelques détails : j'ai employé un osmorégulateur, du type courant, à parois ayant une épaisseur de 0,1 mm. J'ai fait l'électrolyse dans une solution d'acide phosphorique avec un courant dont l'intensité variait entre 5 et 20 milliampères. L'anode, en platine, était disposée de telle manière que le champ électrique ait à peu près la même valeur autour du tube, et cela pour éviter une déformation trop grande de l'osmorégulateur pendant l'électrolyse. Une fois l'électrolyse effectuée, on chauffe légèrement le tube en palladium. L'hydrogène se dégage presque instantanément. Je suis arrivé, par ce procédé, à introduire avec facilité, d'un seul coup, un volume d'hydrogène, rapporté aux conditions normales, 170 fois plus grand que celui de l'osmorégulateur, et cela, quand j'avais déjà dans le vase une pression de l'hydrogène correspondant à celle d'une colonne de mercure de 200 mm.

En répétant plusieurs fois cette opération, j'ai introduit aisément de l'hydrogène très pur jusqu'à une pression correspondant à celle d'une colonne de mercure de 500 mm. On peut certainement aller plus loin encore.

On n'a aucun avantage à chauffer plus fort. Non seulement on n'augmente pas la quantité dégagée, mais une partie notable d'hydrogène est réabsorbée et, si l'on chauffe vers le rouge sombre, le gaz diffuse très rapidement vers l'extérieur. Il ne faut pas non plus dégazéifier complètement l'osmorégulateur, par un chauffage plus prolongé, même modéré, car on risque, d'une part, une réabsorption de l'hydrogène et, d'autre part, de déformer trop le tube, par suite des contractions subies par le métal quand on dégage le gaz qu'on y a occlus.

Il reste à déterminer les conditions optima d'épaisseur des parois et de surface du tube pour obtenir le meilleur résultat.

La technique du vide à employer, pour préparer, au préalable, l'espace où l'on doit recueillir l'hydrogène, est beaucoup facilitée et rendue plus efficace si l'on se sert de la méthode décrite dans cette note. A ce point de vue aussi, je lui vois des avantages non négligeables, dans un grand nombre de cas, sur les autres méthodes connues.

Un osmorégulateur en palladium, soudé sur l'installation à vide, permettra donc d'introduire dans une enceinte de très petites quantités d'hydrogène pur, si on le chauffe comme on le sait, avec une petite flamme d'alcool, et des quantités considérables dans des conditions parfaites de pureté, et cela très simplement, par la méthode plus haut décrite.

(1) Horia Hulubei. *Comptes rendus des Sciences de l'Académie des Sciences*, 21 juillet 1930, t. CXCI, p. 134-136, 1 000 mots.

(2) A. Holt, E.-C. Edgar et J.-B. Firth. Die Sorption von Wasserstoff durch Palladiumblech. *Zeitschrift für physikaliche Chemie*, 1913, t. LXXXII, p. 513-540.

SECTION INDUSTRIELLE

Quelques résultats d'essais des convertisseurs à balais liquides

L'auteur de l'article qui suit a décrit dans cette revue (*), en 1926, un modèle de convertisseurs à balais liquides dont il faisait ressortir les avantages; nous rappellerons, à ce propos, que l'article de M. A. Latour fit l'objet de certaines observations de M. A. Soulier et de M. Ch. Beaudouin également publiées dans ces colonnes (**). Dans les lignes qui suivent sont présentés des résultats d'essais effectués sur deux nouveaux modèles de convertisseur; ces essais portent essentiellement sur la nature exacte du courant produit par le convertisseur et sur le rendement du dispositif. De nombreux oscillogrammes reproduits dans l'article permettent de se rendre compte des conditions optima de fonctionnement de l'appareil et des résultats numériques fixent les idées sur le facteur de puissance, le facteur de forme et le rendement dont les valeurs citées ont été contrôlées par le Bureau d'Essais de l'Institut électrotechnique de Grenoble.

I. **Dispositions générales.** — Nous avons déjà exposé dans cette revue (1) le principe de ces appareils. Aujourd'hui que ce procédé semble sorti de la période expérimentale pour entrer dans la voie industrielle, nous croyons utile de préciser davantage quelques caractères de nos machines; à cet effet, nous nous proposons de résumer les essais effectués dernièrement à l'Institut électrotechnique de Grenoble sous le contrôle du personnel compétent du Bureau d'Essais de cet Institut. Aussi bien nous abstiendrons-nous pour l'instant de toute description, renvoyant le lecteur que les détails constructifs peuvent intéresser aux nombreux brevets français ou étrangers relatifs à cette question et notamment au brevet allemand 478 044 ainsi qu'aux brevets français 592 441, 610 071 et addition 32 745.

Ces essais ont été effectués sur une machine construite par la Société Michel Bonnier, de Lyon, et prévue pour donner en courant continu une tension d'environ 120 v, par redressement direct de courant hexaphasé (2). Les principales dimensions et caractéristiques de cette machine (fig. 1) sont les suivantes : Hauteur 0,63 m; diamètre à la base 0,29 m; poids 55 kg; cuve étanche combinée avec cloche gazométrique permettant la conservation illimitée d'un gaz inerte dans l'appareil; collecteur à douze lames; huit jets dits « de courant »; quatre jets dits « de commutation »; grilles de commutation à huit barreaux; synchroniseur à autoexcitation; vitesse de rotation 1 500 t: mn.

A défaut d'un transformateur statique spécialement établi pour cette machine nous avons utilisé trois trans-

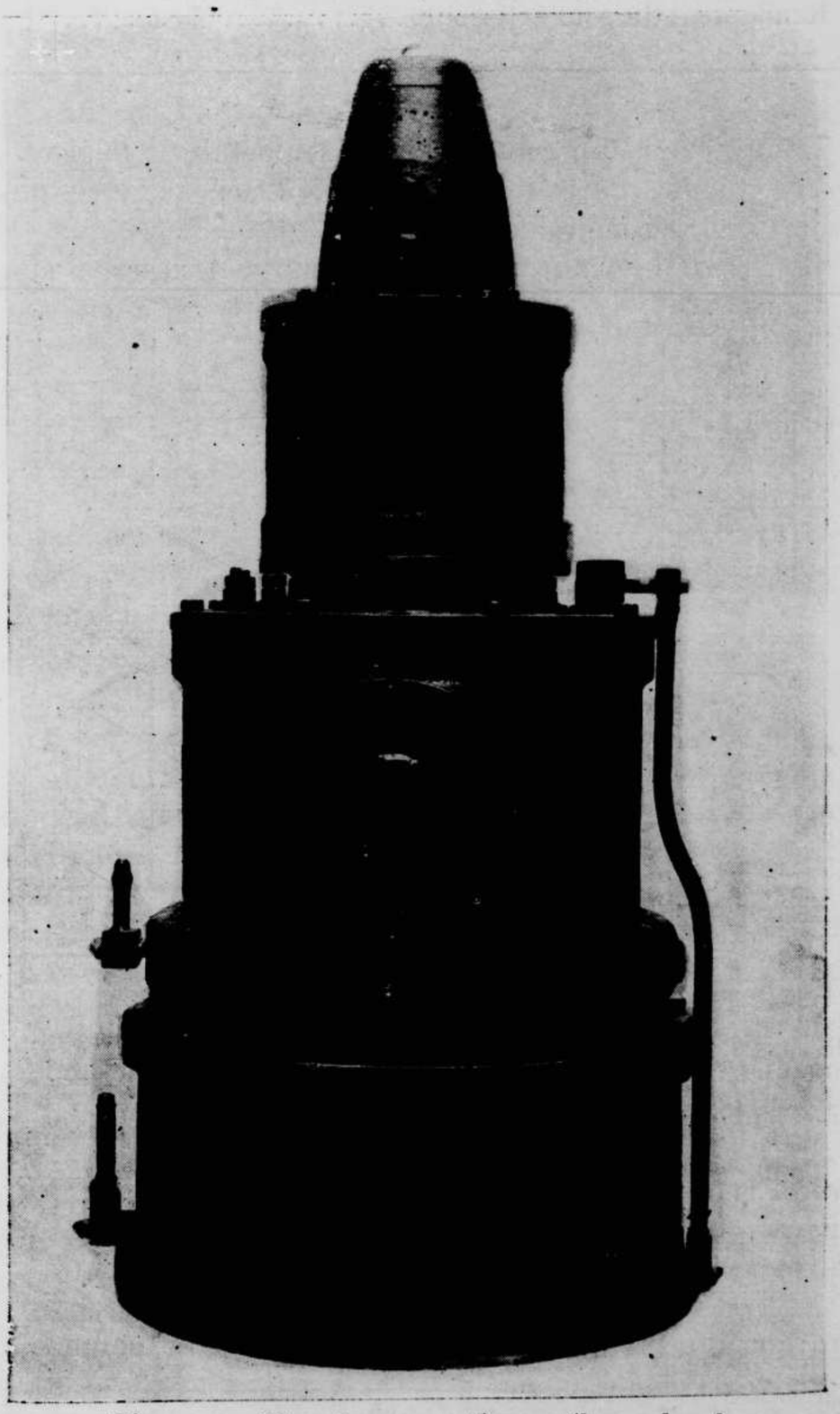


Fig. 1. — Vue du convertisseur hexaphasé.

(*) André Latour; Note sur la transformation des courants alternatifs en courants continus par un procédé nouveau. *Revue générale de l'Electricité*, 5 juin 1926, t. XIX, p. 893-901.

(**) A propos de la transformation des courants alternatifs en courants continus. *Revue générale de l'Electricité*, 19 juin 1926, t. XIX, p. 962 et 10 juillet 1926, t. XX, p. 41-42.

(1) André Latour. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.

(2) Figure 11 de l'article précité.

formateurs monophasés dont les tensions secondaires s'éloignaient sensiblement de la tension requise. En revanche, ces transformateurs pourvus de prises séparées multiples permettaient l'exécution d'un grand nombre de couplages différents.

La puissance absorbée par le convertisseur était mesurée par 5 wattmètres; un wattmètre monté avec commutateur de phases indiquait d'autre part la puissance absorbée par le synchroniseur et indépendante de la charge. Aux bornes à courant continu étaient connectés, d'une part, un voltmètre à cadre indiquant la tension moyenne et, d'autre part, un voltmètre thermique mesurant la tension efficace. Les courants étaient mesurés par un ampèremètre thermique en série avec un ampèremètre électrodynamique étalon destiné à contrôler les indications du premier. Tous ces appareils avaient été préalablement étalonnés ; les plus grandes précautions étaient prises dans la disposition des connexions afin d'éviter les champs extérieurs qui auraient pu fausser les indications des appareils.

II. **Essai en convertisseur à courant continu 150 volts.** — Les transformateurs étaient montés en triangle au primaire et en hexagone au secondaire (fig. 2 a). Dans ces conditions. on a relevé les résultats consignés dans le tableau I.

TABLEAU I. — *Résultats de l'essai en convertisseur à courant continu 150 volts.*

Tension simple efficace de l'hexagone, en volts.....	55,5	55	54,7	54	52,20
Puissance absorbée par le convertisseur, en watts....	1 835	3 333	4 863	6 689	10 860
Indication du voltmètre thermique, en volts.....	144,5	141,5	140,5	137,4	130,5
Indication du voltmètre à cadre mobile, en volts.....	143,5	140,5	140	137	130
Intensité du courant continu, en ampères.....	11,5	22,6	33,5	47	79,7
Puissance utile, en watts.....	1 663	3 200	4 700	6 460	10 400
Rendement du convertisseur.....	0,906	0,960	0,966	0,966	0,959

La perte constante au synchroniseur était de 66,5 w.

Les courbes de la figure 3 ont été tracées d'après ce tableau et résument ces résultats.

Conservant le montage utilisé pour cet essai, nous avons relevé les oscillogrammes représentés sur les figures 4 à 8, correspondant aux n°s 49, 60, 80, 87 et 95, et ceci dans les conditions suivantes :

N° 49. — Tension continue efficace $U_c = 143$ v ; courant continu sur résistance en série avec une inductance, $I_c = 22$ A.

N° 60. — Tension continue efficace $U_c = 136$ v ; courant continu sur récepteur presque sans inductance, $I_c = 40$ A.

N° 80. — Tension entre deux plots successifs du collecteur $U_1 = 53,5$ v ; tension U_g dans la grille de commutation correspondante ; courant I_1 amené par le plot correspondant, la machine débitant 60 A sous 134 v.

N° 87. — Courant I_h dans un des côtés de l'hexagone secondaire, la machine débitant 40 A sous 136 v ; tension U_h aux extrémités d'un diamètre de ce dernier.

N° 95. — Courant primaire I_r, la machine débitant 60 A sous 134 v ; tension composée du réseau $U_r = 122$ v.

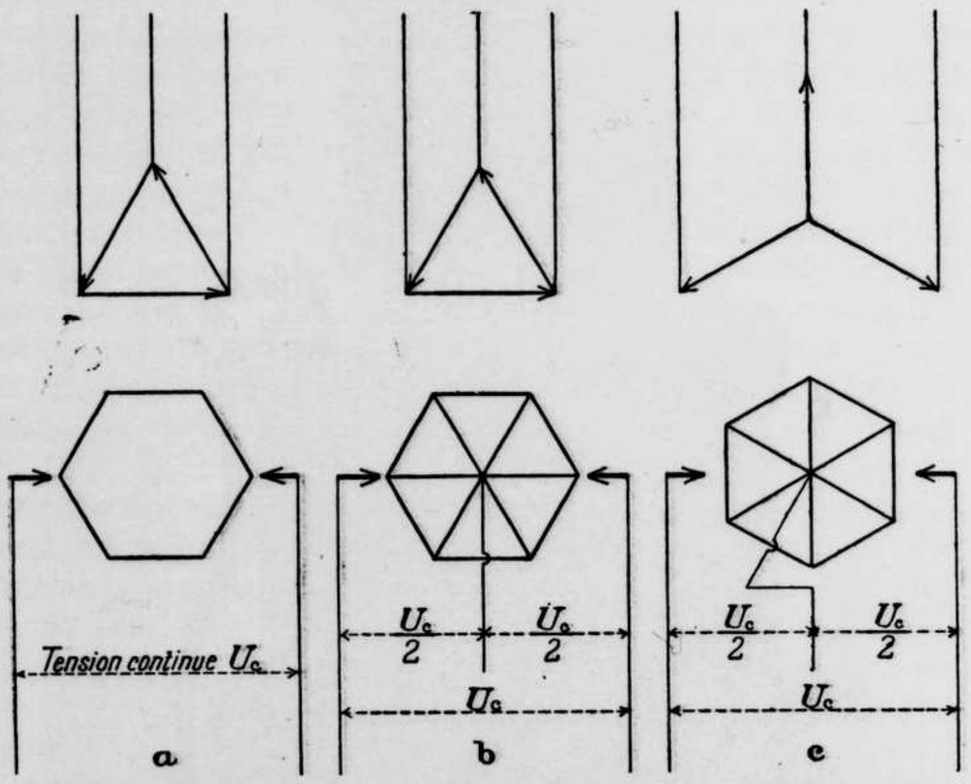


Fig. 2. — Schémas des couplages des transformateurs alimentant le convertisseur : a, triangle-hexagone ; b, triangle-hexatrigone ; c, étoile-hexatrigone.

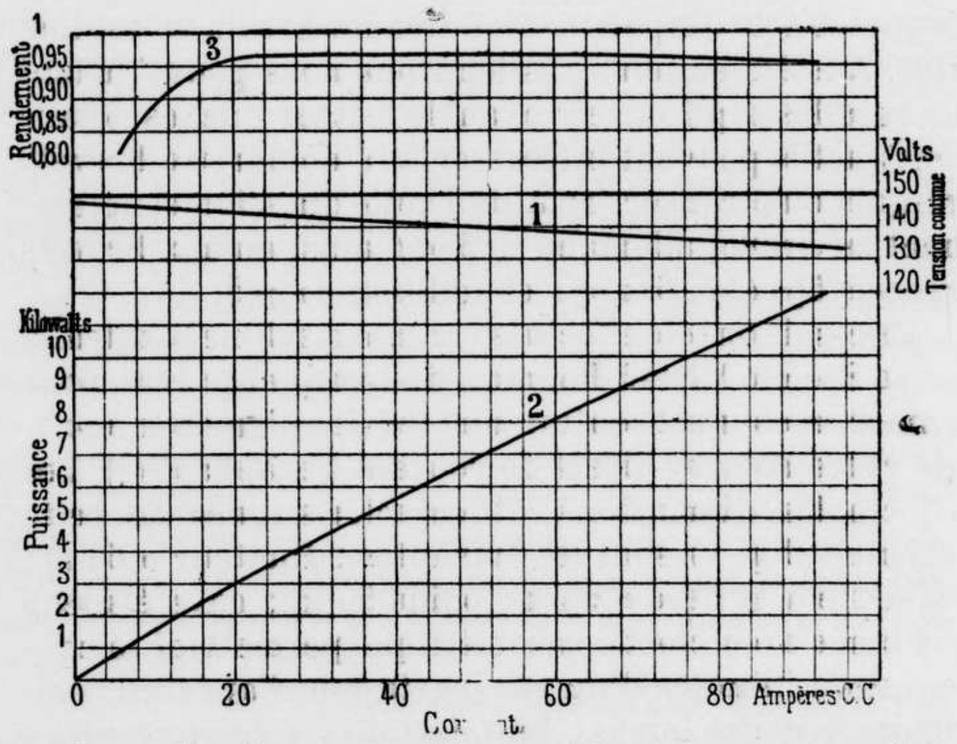


Fig. 3. — Courbes donnant en fonction du courant continu débité par le convertisseur et pour le montage triangle-hexagone : 1, la caractéristique en charge de l'ensemble convertisseur-transformateurs ; 2, la puissance utile ; 3, le rendement du convertisseur.

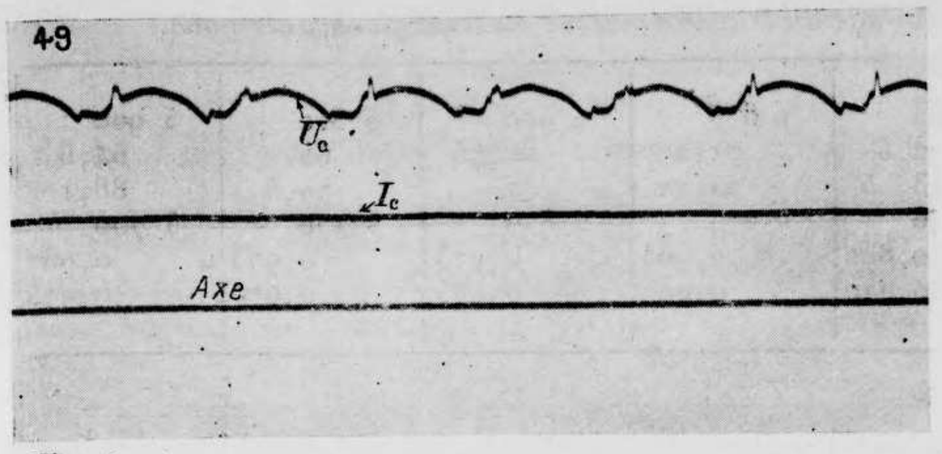


Fig. 4

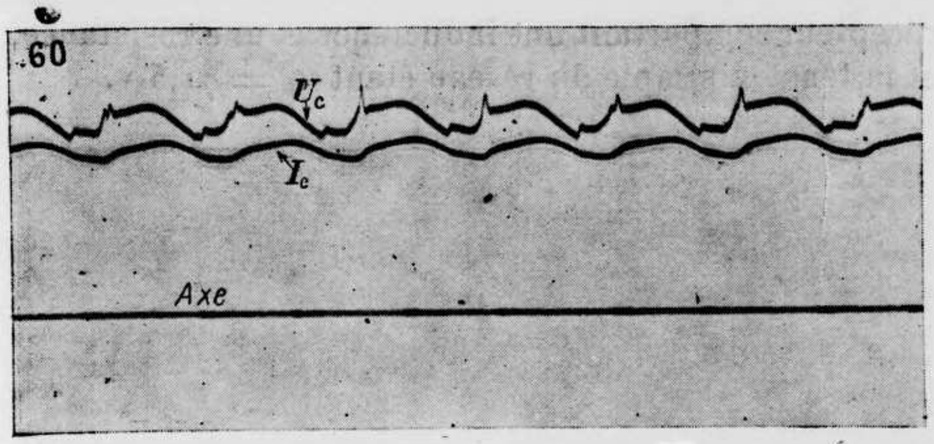


Fig. 5

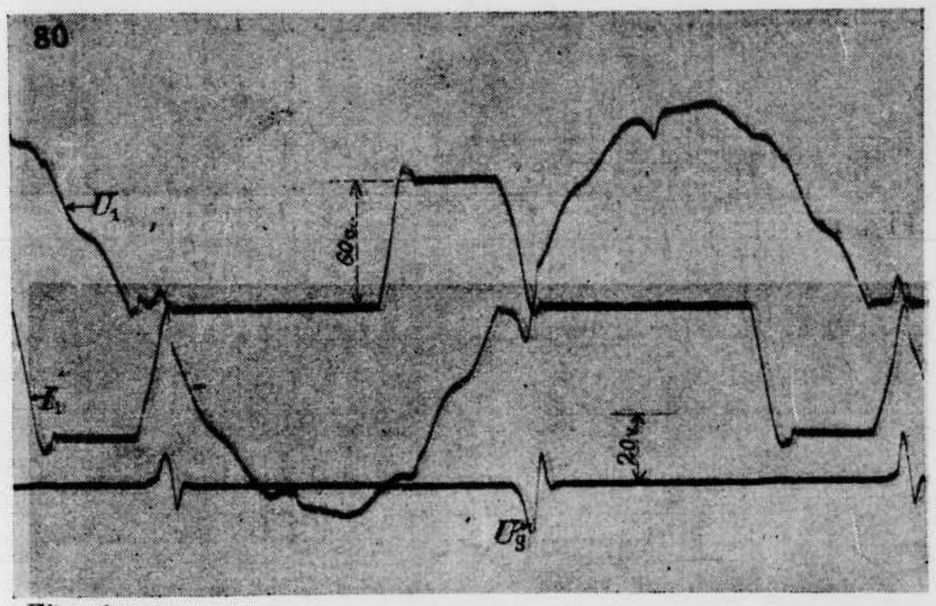


Fig. 6

Remarques. — 1. L'oscillographe utilisé était du type bifilaire à trois boucles ; l'amortissement de celles-ci obtenu par de l'huile de paraffine était légèrement insuffisant comme le montrent quelques petites bosses visibles notamment sur l'oscillogramme 95. La longueur du papier correspond à un peu plus d'une période de la

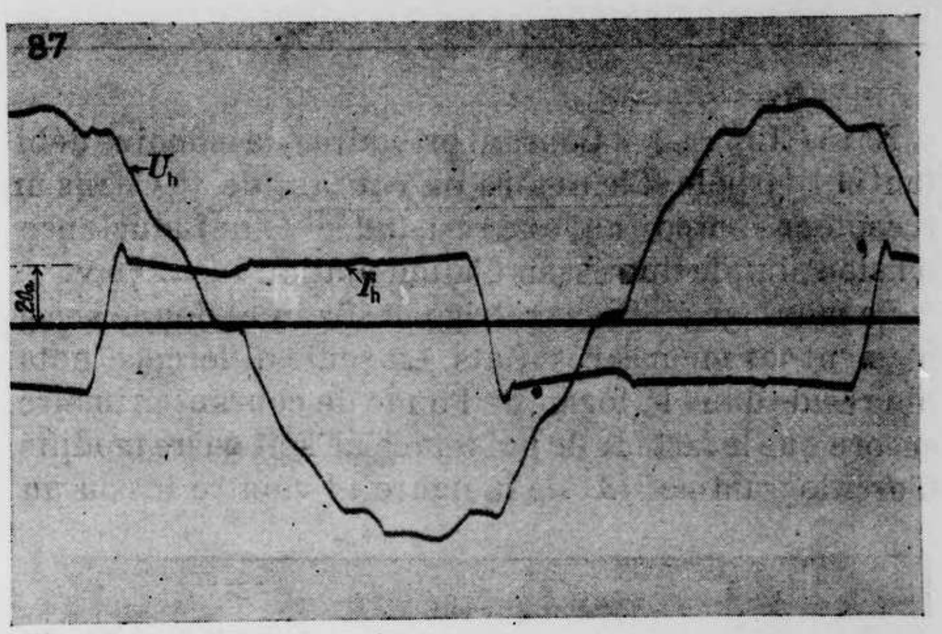


Fig. 7

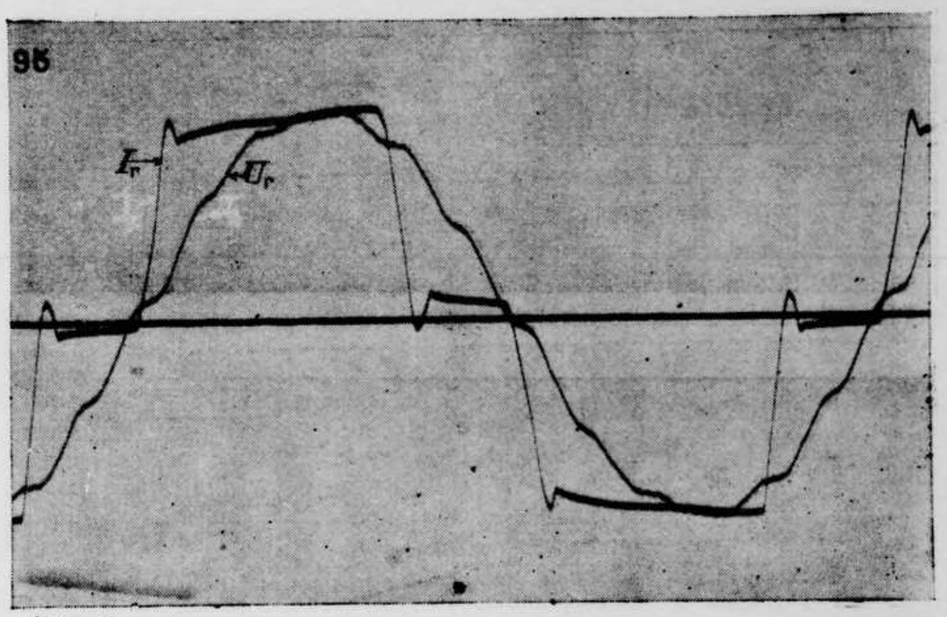


Fig. 8

Fig. 4 à 8. — Oscillogrammes relevés lors de l'essai du convertisseur hexaphasé avec le montage triangle-hexagone.

tension du réseau à 50 p:s. Ces remarques s'appliquent à tous les oscillogrammes qui suivent.

2. Les trois transformateurs utilisés n'avaient pas le même rapport de transformation ; il en résultait dans l'hexagone secondaire un certain courant de circulation (8 A environ) d'où provient la légère déformation de l'onde de courant. La même remarque s'applique au courant primaire affecté, d'autre part, d'une déformation supplémentaire causée par le courant magnétisant des transformateurs.

III. Essai en convertisseur à courant continu deux fois 35 volts. — Les transformateurs étaient montés en triangle au primaire et au secondaire en "hexatrigone" (1) (fig. 2 b). Le tableau II rend compte des résultats.

(1) C'est-à-dire suivant la figure géométrique formée par six triangles équilatéraux ayant un sommet et les deux cotés adjacents communs.

La perte constante au synchroniseur était de 62,8 w.

Dans cet essai, la machine débitait une charge égale sur les fils extrêmes, c'est-à-dire que le courant dans le conducteur neutre était nul. Le fonctionnement était identique en cas de fort déséquilibre, à savoir un seul pont chargé à 80 A et aucune charge sur l'autre.

Les oscillogrammes des figures 9 à 12 ont été relevés dans les conditions suivantes :

N° 112. — Tension aux bornes du convertisseur $U_c = 70{,}2$ v ; courant sur résistance en série avec inductance de $2{,}4 \times 10^{-3}$ henry : $I_c = 14$ A.

N° 116. — Tension entre une borne du convertisseur et le point neutre $U_c' = 35$ v ; courant correspondant sur résistance en série avec une inductance de $4{,}5 \times 10^{-2}$ henry : $I_c = 33$ A.

N° 149. — Courant primaire I_r, la machine débitant sur deux pôles un courant de 68 A dans un récepteur comportant une résistance et une inductance ; tension simple du réseau $u_1 = 66{,}5$ v.

TABLEAU II. — *Résultats d'essais du convertisseur avec montage du transformateur en triangle-hexatrigone.*

Puissance absorbée par le convertisseur, en watts ..	1 062	1 635	2 900	5 320	5 900
Indication du voltmètre thermique, en volts.....	72,5	71,2	68,75	65	64,6
Intensité du courant continu, en ampères	13,05	22,12	41	79,5	88,1
Puissance utile, en watts.....	946	1 572	2 820	5 170	5 700
Rendement du convertisseur.....	0,890	0,963	0,973	0,973	0,967
Facteur de puissance au primaire.....	0,820	0,900	0,945	0,970	0,975

N° 151 (fig. 12.) – Courant primaire I_r la machine débitant sur un pôle et le neutre un courant de 45 A dans un récepteur comportant une résistance et une inductance; tension simple du réseau d'alimentation $u_1 = 70$ V.

Le montage étoile-hexatrigone (fig. 2 c) donne sensiblement les mêmes résultats. La seule différence notable réside dans la forme de l'onde de courant primaire, encore que le facteur de puissance ne soit guère modifié. L'oscillogramme 131 de la figure 13 montre le courant primaire dans ce dernier cas, la machine débitant sur deux pôles un courant de 60 A sous 63 V dans un récepteur comportant une inductance et une résistance, et la tension simple du réseau étant $u_1 = 71,5$ V.

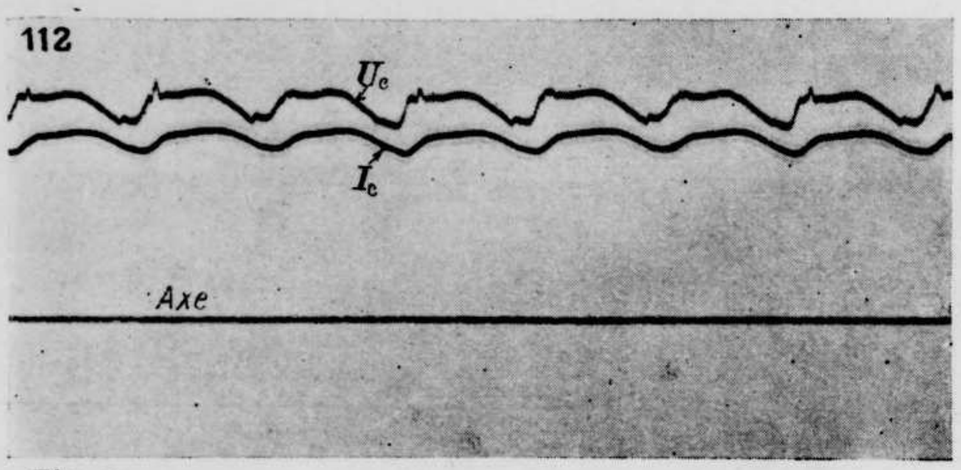


Fig. 9

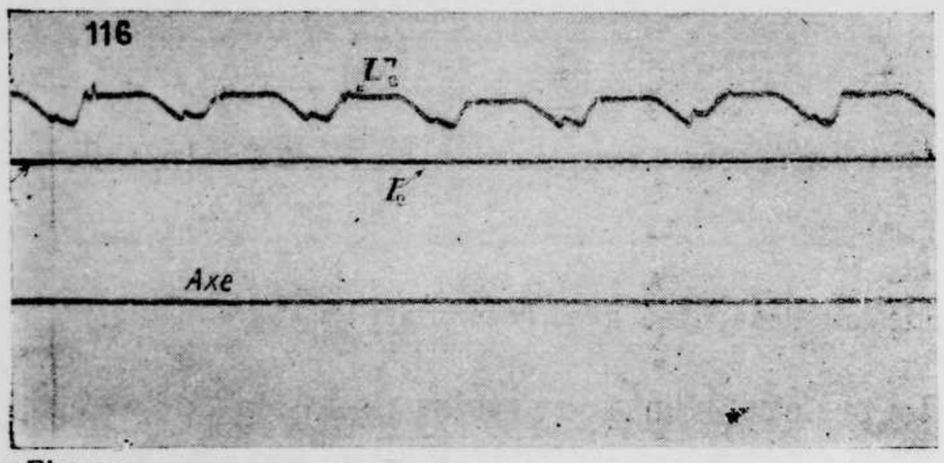


Fig. 10

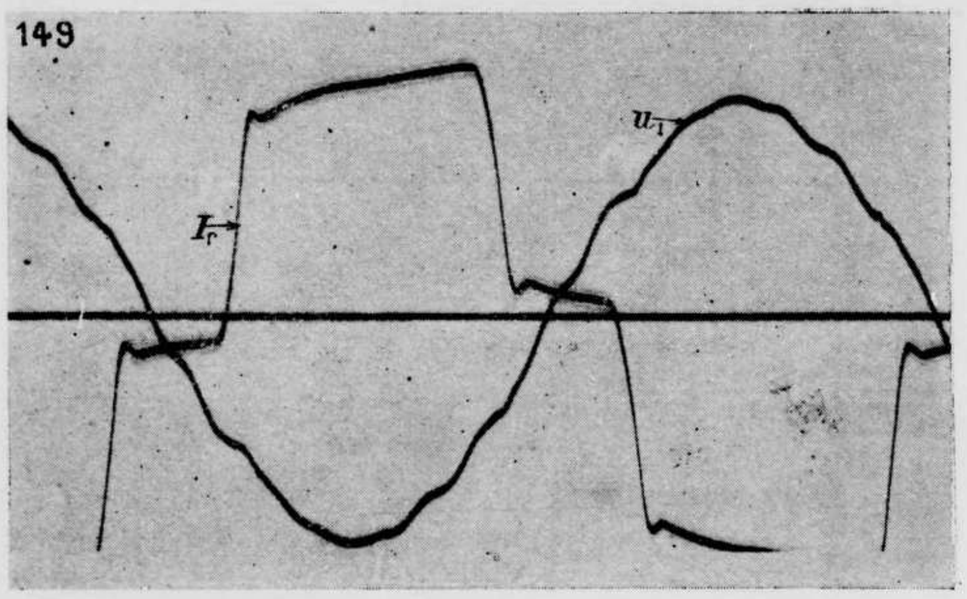


Fig. 11

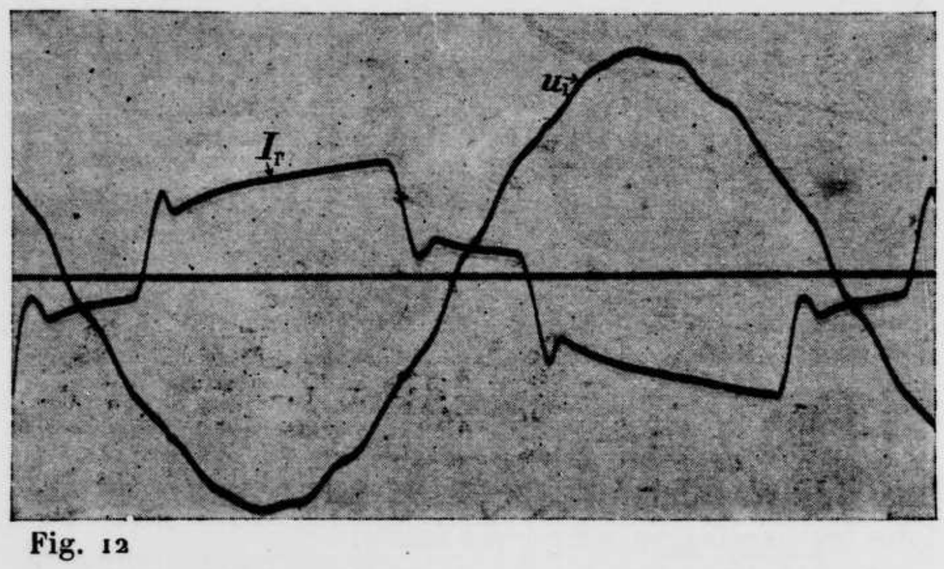


Fig. 12

Fig. 9 à 12. — Oscillogrammes relevés lors de l'essai du convertisseur hexaphasé avec le montage triangle-hexatrigone.

IV. **Facteur de forme**. — Nous désignons ainsi le rapport de l'indication donnée par un voltmètre thermique monté aux bornes du convertisseur à l'indication donnée par un appareil à cadre en parallèle avec le premier. Ce nombre est donc d'autant plus voisin de l'unité que la tension se rapproche davantage d'une droite. Comme on a pu s'en rendre compte d'après le tableau I, l'ondulation que mettent en évidence les oscillogrammes de tension n'affecte pas beaucoup le facteur de forme qui demeure voisin de 1,004 en moyenne. La forme propre de la tension continue dépend en outre du calage des jets de mercure par rapport à la ligne neutre. C'est ce que montrent les oscillogrammes suivants (fig. 14 à 16).

N° 63. — Tension continue $U_c = 150$ V; jets calés à 10° en arrière.

N° 67. — Tension continue $U_c = 150$ V; jets calés sur la ligne neutre.

N° 70. — Tension continue $U_c = 146$ V; jets calés à 6° en avant.

S'il est vrai que l'ondulation de tension soit sans grande influence sur les indications des voltmètres, il n'en est pas de même, bien entendu, quand on remplace ceux-ci par un écouteur téléphonique. Nous avons, en effet, pour cet essai utilisé un casque de grande sensibilité aux bornes duquel la tension étudiée était maintenue à la valeur constante de 20 V, au moyen d'une résistance potentiométrique montée aux

bornes du récepteur non inductif sur lequel débitait le convertisseur. Dans ces conditions l'écouteur « chantait » très fortement. Au contraire, il suffisait d'insérer dans le circuit de débit une inductance d'environ $4{,}5 \times 10^{-2}$ henry pour le rendre complètement silencieux dès que le courant atteignait quelques ampères. Ce fait est confirmé par l'oscillogramme 116 où l'ondulation de courant, nettement visible sur l'oscillogramme 112, a complètement disparu. Un convertisseur en série avec une inductance appropriée se comporte comme un générateur de courant parfaitement continu (génératrice téléphonique).

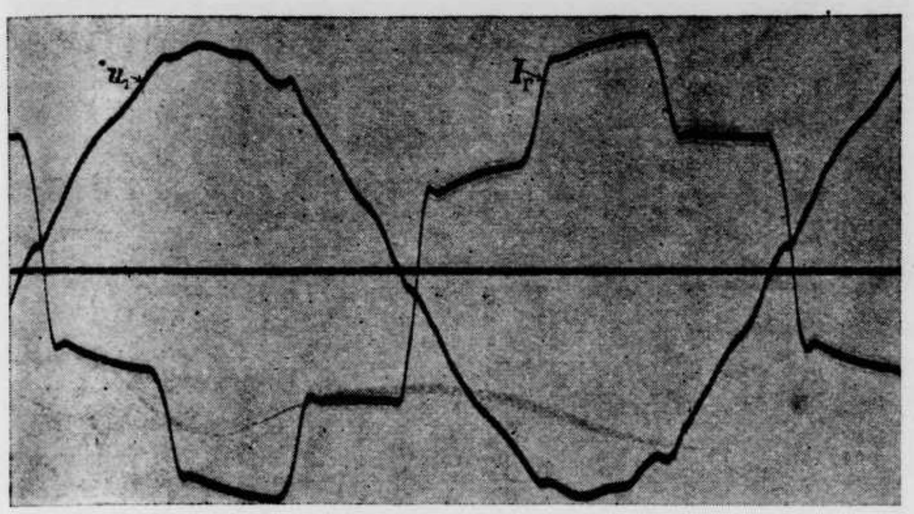


Fig. 13. — Oscillogramme relevé lors de l'essai du convertisseur hexaphasé avec le montage étoile-hexatrigone.

V. **Chute de tension.** — La chute de tension dans le convertisseur lui-même ne suit pas la loi d'Ohm. En mettant en court-circuit les lames du collecteur, nous avons pu mesurer la résistance interne de l'appareil et tracer la courbe de la figure 17. On voit que la résistance interne dépend beaucoup de l'intensité du courant.

La chute de tension totale de l'ensemble convertisseur et transformateurs dépend, bien entendu, des caractéristiques de ces derniers ainsi que de leur montage.

VI. **Facteur de puissance.** — Le facteur de puissance primaire ne varie pas beaucoup avec les différents montages des transformateurs. Il dépend, dans une certaine mesure, du calage des jets par rapport à la ligne neutre. Dans les conditions de fonctionnement normal du convertisseur, le courant change de sens presque en même temps que la tension simple (oscillogrammes 149 et 131 des figures 11 et 13). De plus, la courbe n'a, en aucun point, de tangentes perpendiculaires à l'axe des temps, mais au contraire, ses tangentes sont inclinées donnant une allure trapézoïdale et non rectangulaire. Ce fait provient des grilles de commutation qui s'opposent à toute variation brusque du courant : il est évident, d'autre part, que la courbe se rapproche d'autant plus d'une sinusoïde que le nombre de phases secondaires est plus élevé. D'une façon générale, on trouve des courbes semblables à celles que produisent les redresseurs à vapeur de mercure (1).

L'introduction d'une inductance dans le circuit à courant continu est également presque sans influence sur le facteur de puissance, mais modifie quelque peu la forme du courant primaire. C'est ce que montre l'oscillogramme 135 (fig. 18) pris dans des conditions sensiblement pareilles à celles de l'oscillogramme 131, la machine débitant sur une résistance pure. De même, l'oscillogramme 153 (fig. 19) est obtenu avec un récepteur sans inductance alors que son homologue 149 provenait d'un récepteur inductif. La courbe de la figure 20 donne pour le montage triangle-hexatrigone

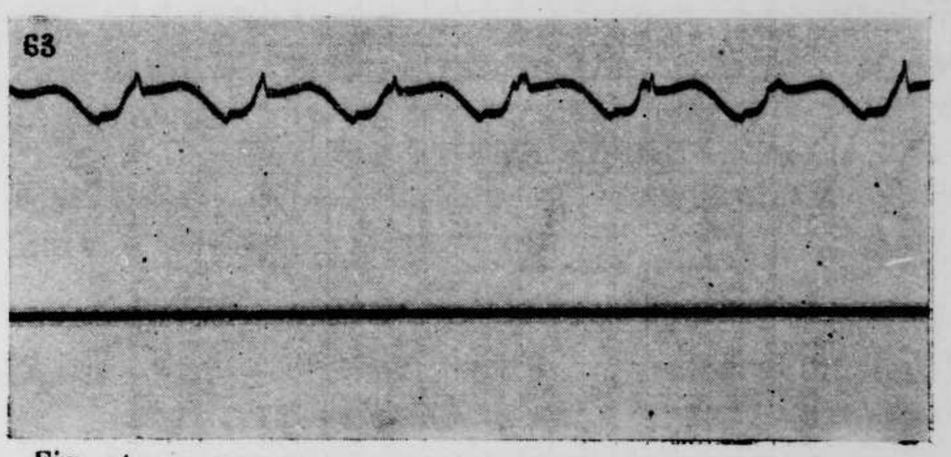


Fig. 14

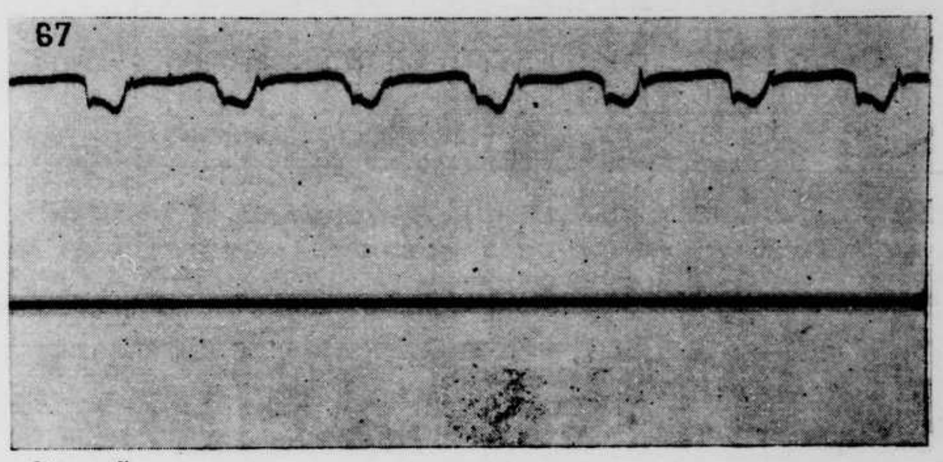


Fig 15

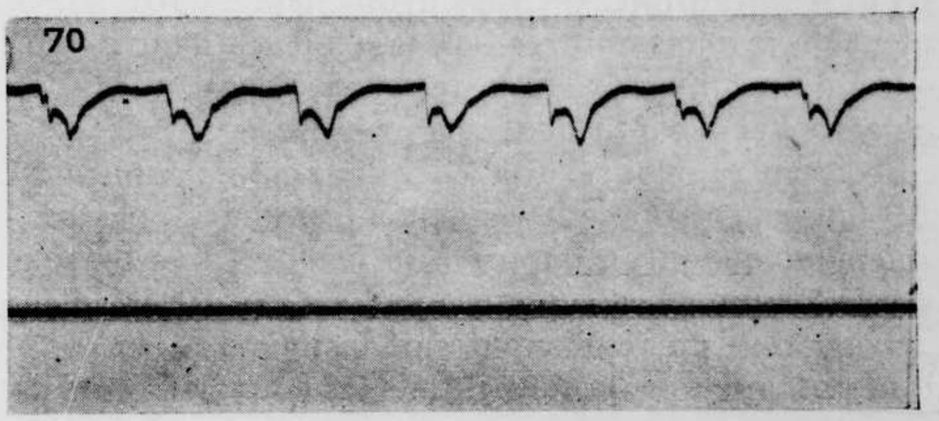


Fig. 16

Fig. 14 à 16. — Oscillogrammes montrant l'influence du calage des jets de mercure sur la courbe représentative de la tension ondulée.

(fig. 2 b) la valeur du facteur de puissance primaire en fonction du courant débité par le convertisseur dans un

(1) Heinrich Jungmichl ; Forme de la courbe du courant primaire et facteur de puissance dans les grands redresseurs de vapeur de mercure. *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 21 janvier 1923, t. XLI, p. 57-63, analysé dans la *Revue générale de l'Électricité*, 11 août 1923, t. XIV, p. 181-189.

récepteur sans inductance en série avec une inductance de $2{,}2 \times 10^{-2}$ henry.

En ce qui concerne le facteur de puissance secondaire, il suffit de remarquer que l'enroulement polygonal du transformateur travaille exactement comme l'enroulement induit d'une dynamo. La section de l'enroulement secondaire doit être prévue pour supporter la moitié du courant total du convertisseur et il n'est

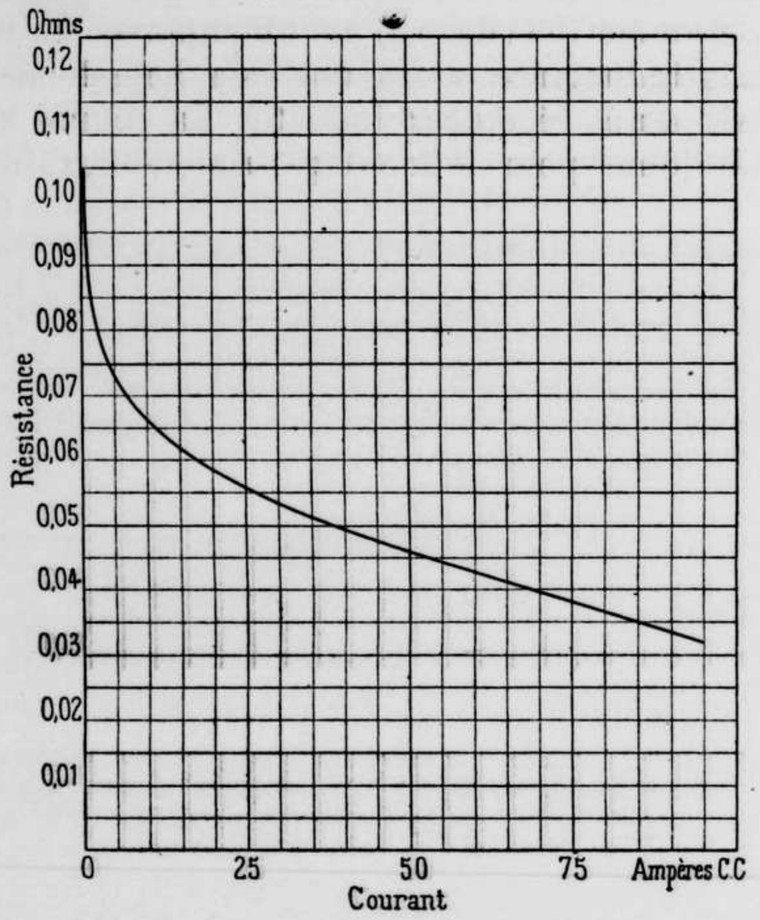


Fig. 17. — Courbe montrant la variation de la résistance du convertisseur en fonction du courant continu débité.

nullement besoin de majorer son poids de cuivre dans un certain rapport (voir l'oscillogramme 87 de la figure 7).

VII. **Rendement**. — Nous avons déjà montré par le calcul (1) à quels chiffres l'on pouvait s'attendre dans le cas d'un convertisseur hexaphasé. Les résultats des tableaux I et II confirment nos prévisions.

En comparant les résultats des deux essais (tableaux I et II) on peut voir que le rendement ne change pas sensiblement quand on impose à la machine une tension très différente de celle pour laquelle elle a été calculée. La variation du rendement suit la même loi et constitue un caractère propre à tous les convertisseurs de ce système.

VIII. **Résistance aux courts-circuits**. — Nous n'avons fait à ce sujet que des essais... involontaires. A diverses reprises en effet la machine eut à supporter de forts à-coups dont l'un fut même un court-circuit franc aux bornes de l'appareil, provoqué par un conducteur placé accidentellement sur le circuit et de résistance absolument négligeable. La quantité de métal fondu attestait du reste la violence du phénomène. Cependant au démontage le collecteur et les grilles apparurent intacts. A notre avis ceci n'a rien d'étonnant : en

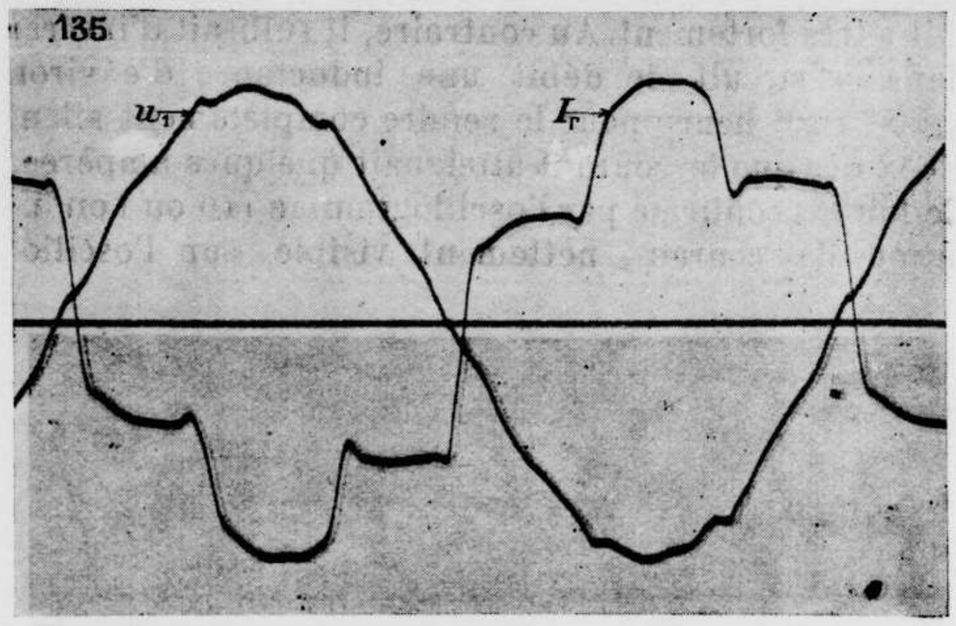


Fig. 18

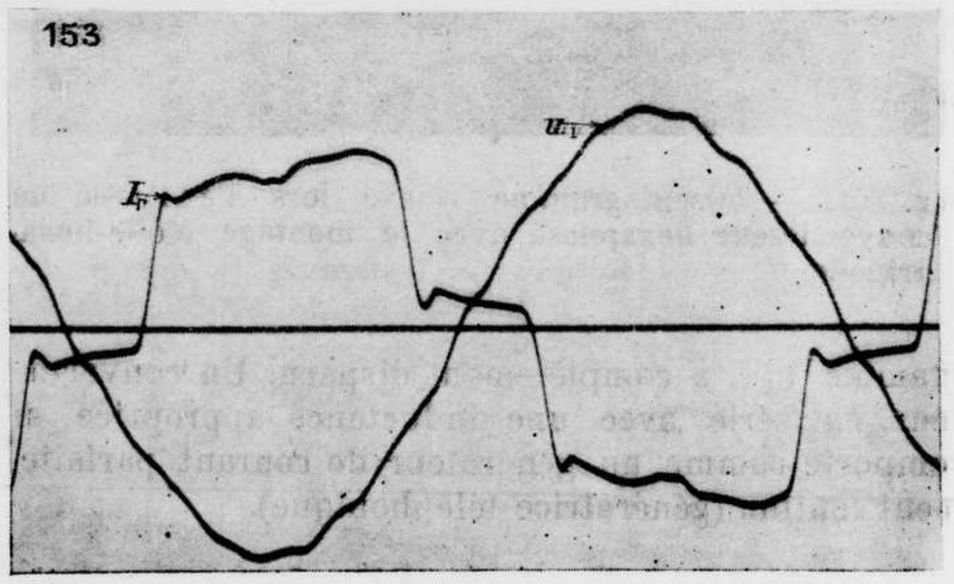


Fig. 19

Fig. 18 à 19. — Oscillogrammes montrant l'effet de la nature du récepteur sur la forme de la courbe représentative du courant primaire.

période de court-circuit les parties les plus exposées

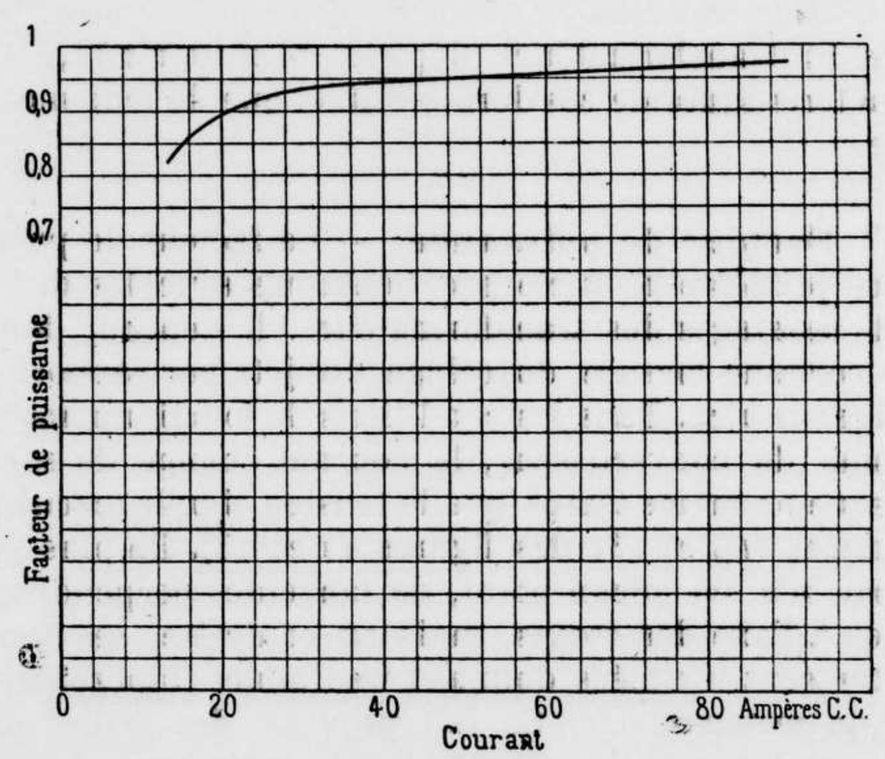


Fig. 20. — Courbe donnant le facteur de puissance primaire en fonction du courant continu débité par le convertisseur avec le montage triangle-hexatrigone.

de la machine sont les grilles de commutation. Or,

(1) André Latour. *Revue générale de l'Electricité*, loc. cit.

quand on examine au stroboscope le fonctionnement de celles-ci et, en particulier, de chaque barreau séparément, on constate la succession cinématographique de la figure 21 sur laquelle en e et f on remarquera que la

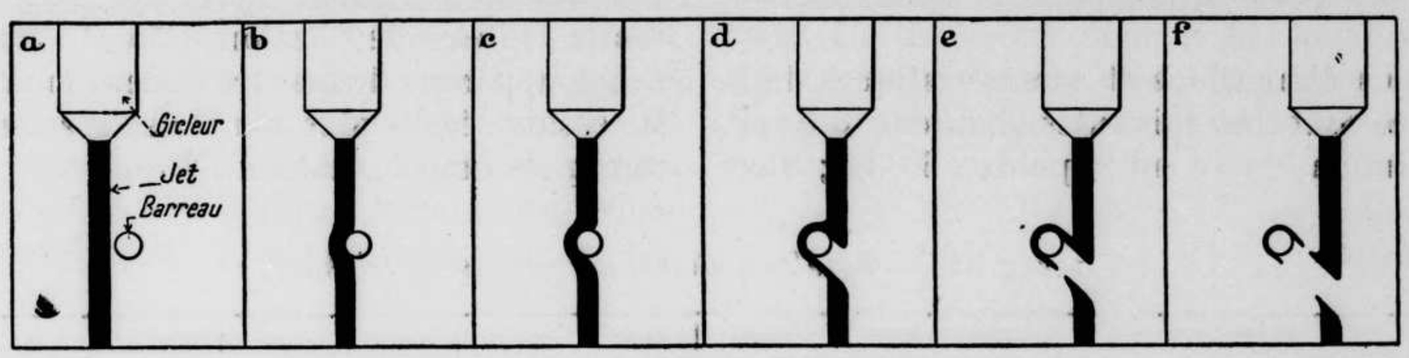


Fig. 21. — Représentation cinématographique d'un jet de mercure coupé par un barreau d'une grille de commutation.

rupture du contact se produit non pas entre le barreau et le jet mais entre le jet et une pellicule de mercure temporairement à cheval sur le barreau. L'arc de rupture, déjà affaibli par l'effet propre de la grille se borne donc à volatiliser du mercure, lequel retourne plus tard dans la circulation.

IX. **Fonctionnement en multiplicateur de fréquence.** — Supposons le transformateur monté en étoile au secondaire et traçons les tensions simples de chaque phase rapportées au point neutre (fig. 22). On voit qu'il est possible, par un triage judicieux et synchronique des phases d'obtenir une tension de fréquence triple de celle de l'onde fondamentale (courbe en trait fort). D'une manière générale, étant donnée une source de fréquence f comportant m phases, on peut obtenir une tension alternative de fréquence mf. L'onde de tension sera de forme sensiblement triangulaire. Il est bien évident qu'un commutateur synchrone peut être capable d'effectuer le triage requis puisque, après tout, le redressement n'est lui-même pas autre chose qu'un triage analogue. Toutes choses égales, la commutation sera cependant beaucoup plus difficile à réaliser que dans le cas du redressement, mais du fait que la grille est capable de résoudre tous les problèmes de ce genre, il ne doit y avoir nulle impossibilité pratique. Nous avons tenté l'expérience et obtenu la caractéristique suivante.

Tension aux bornes du convertisseur, 150 p : s	Courant efficace, 150 p : s
volts	ampères
13,6	0
12,6	14
11,3	28
10,25	47,5
8,35	80,2

La commutation était excellente mais la chute de tension considérable et la puissance disponible très réduite, ce qui est assez naturel la machine n'ayant nullement été conçue pour cet usage. L'oscillogramme 173 (fig. 23) montre la tension dans une des phases secondaires, $u_{eff} = 28$ v, et la tension aux bornes du convertisseur $u_{150} = 12{,}6$ v ; l'oscillogramme 174 (fig. 24) montre les mêmes grandeurs, le convertisseur débitant 51 A. On retrouve bien la courbe théorique de la figure 23 de notre article précité, compte tenu de la commutation qui a pour effet de tronquer les sommets des triangles en les remplaçant par des trapèzes plus ou moins curvilignes.

X. **Essai d'un redresseur triphasé.** — Nous convenons d'appeler redresseur un appareil uniquement destiné à transformer un courant alternatif en courant

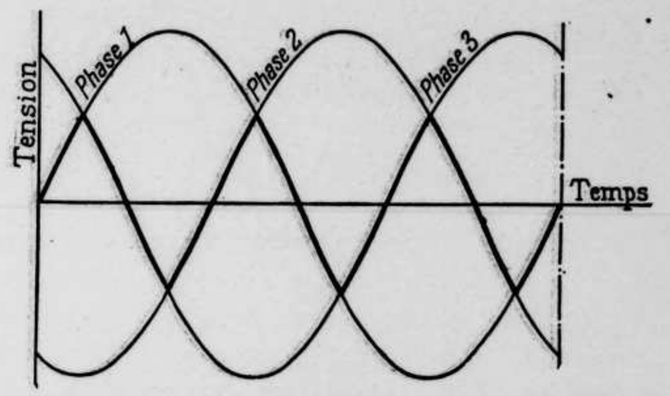


Fig. 22. — Construction montrant la possibilité de multiplier la fréquence par combinaison convenable des phases d'un système polyphasé.

redressé, c'est-à-dire en courant dont la valeur est nulle à certains instants de la période fondamentale ; nous réservons au contraire le nom de convertisseur aux appareils capables comme la machine hexaphasée précédente de « convertir » du courant alternatif en courant continu rigoureusement rectiligne ou même en courant dont la courbe représentative du courant est de forme quelconque, mais non discontinue. Cette distinction faite, on voit que le redresseur est d'un emploi beaucoup plus restreint que le convertisseur ; en particulier, il ne saurait être question de l'employer sur un récepteur inductif. En revanche, il permet une variation progressive de la tension redressée moyenne dans de très grandes limites par simple décalage des jets et, d'autre part, sa consommation à vide est remarquablement faible. La charge des accumulateurs constitue la principale application de ce type de machine. La seule différence fondamentale entre les convertisseurs et les redresseurs de notre système réside dans la position relative des grilles de commutation, qui, dans ces derniers, sont placées de telle sorte qu'il n'y ait jamais contact simultané des jets sur deux

phases du transformateur. Autrement dit, la commutation est supprimée et remplacée par une rupture progressive entre le circuit récepteur et la source de courant alternatif.

Les principales dimensions et caractéristiques de la machine essayée sont les suivantes : hauteur, 0,62 m ; diamètre maximum, 0,29 m ; poids, 63 kg ; cuve étanche combinée avec cloche gazométrique ; collecteur à six lames ; quatre jets de courant ; deux jets de commutation ; grilles de commutation à quatre barreaux ; vitesse de rotation, 1 500 t : mn.

Les appareils de mesure étaient montés comme dans les essais décrits plus haut. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau III.

TABLEAU III. — *Résultats d'essai du redresseur triphasé.*

Tension simple secondaire du transformateur, en volts...	76	76,5	78	78
Tension efficace aux bornes du redresseur, en volts.....	63,5	68	72	75
Tension moyenne aux bornes du redresseur, en volts.....	55	57,5	60	62
Puissance utile, en watts.....	5 000	3 530	2 520	1 065
Rendement du redresseur.....	0,984	0,982	0,980	0,948

Les pertes, constantes au synchroniseur, étaient de 55 w.

Le facteur de forme est d'environ 1,18. Le facteur de puissance primaire est médiocre dans le cas où l'appareil débite sur une résistance pure et ne dépasse guère 0,6. Il s'améliore et se tient aux environs de 0,8 lorsque le récepteur est une batterie d'accumulateurs. L'oscillogramme 184 (fig. 25) montre la tension redressée efficace U_c de 79 v aux bornes du redresseur débitant un courant efficace I_c de 25 A dans un récepteur non inductif.

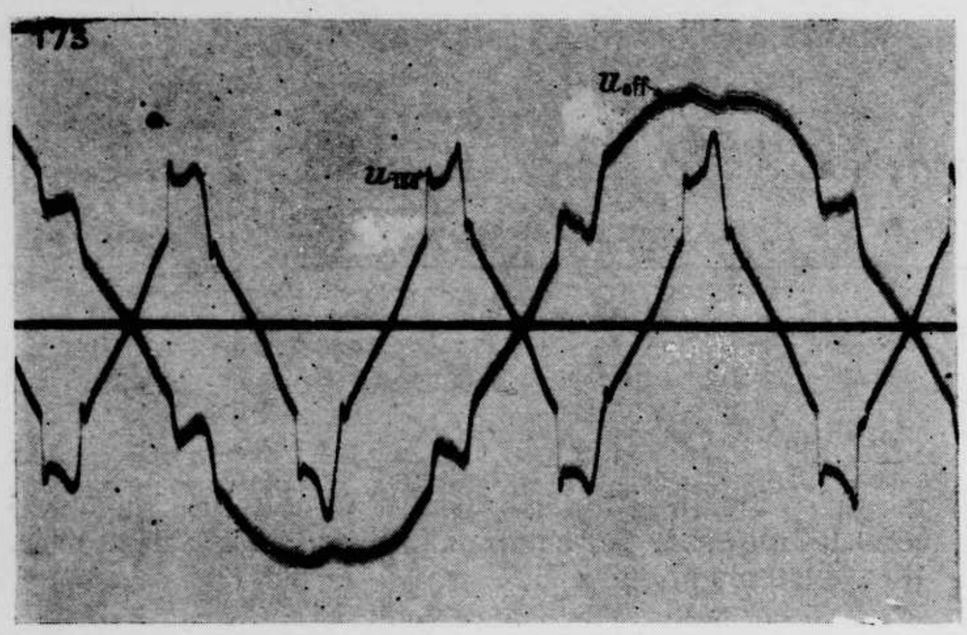


Fig. 23

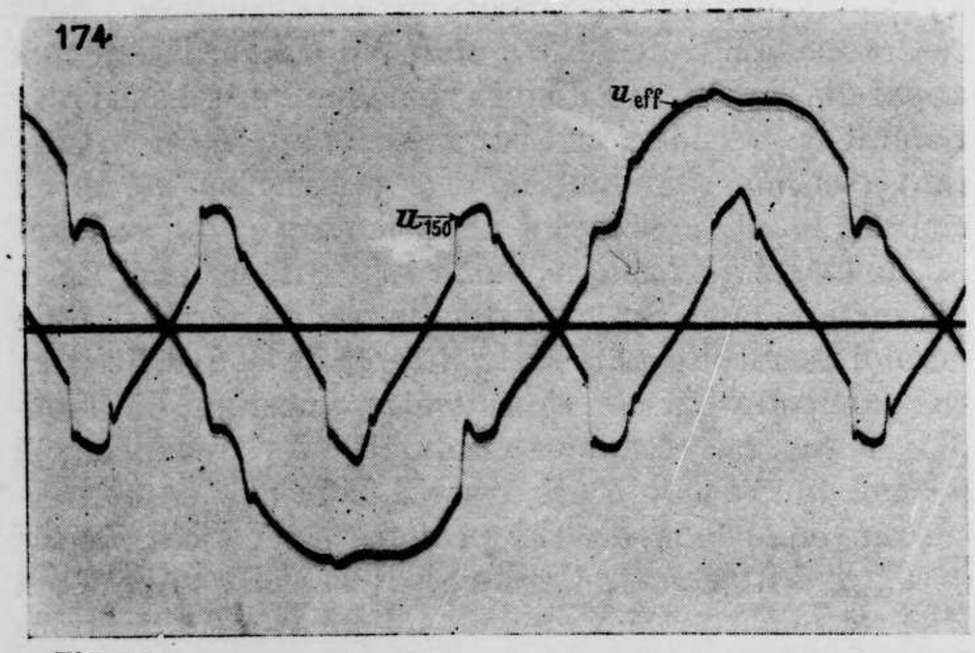


Fig. 24

Fig. 23 et 24. — Oscillogrammes relevés sur le convertisseur fonctionnant en multiplicateur de fréquence.

XI. **Conclusions.** — Laissons de côté les redresseurs et convertisseurs de fréquence qui sont des cas particuliers et ne considérons que le cas général du convertisseur à courant continu. D'aucuns verront dans cet appareil un concurrent du redresseur à vapeur de mercure ; c'est pourquoi nous croyons utile de préciser

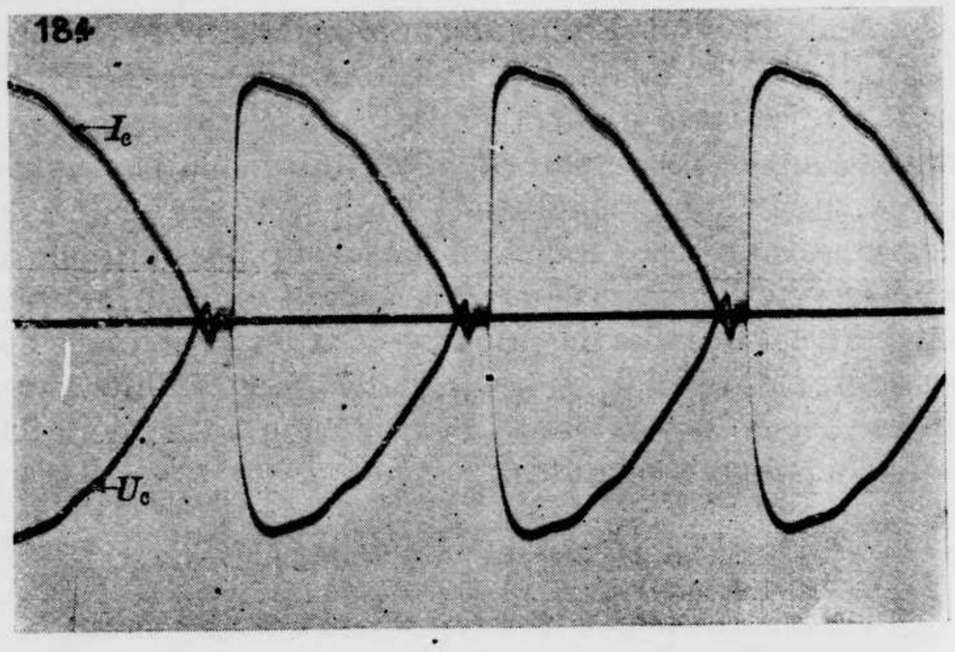


Fig. 25. — Oscillogramme relevé sur le redresseur triphasé.

quelques points. Les principales courbes et caractéristiques de ces deux machines présentent en effet quelques analogies : la courbe de rendement, notamment, avec son palier prolongé qui montre le peu d'influence de la charge, est à ce sujet tout à fait typique. Il importe de remarquer cependant que ces courbes ont été obtenues pour des tensions auxquelles le redresseur à vapeur de mercure n'aurait eu qu'un rendement très médiocre en raison de la chute de tension constante d'environ 18 v dont il est le siège et qui n'existe pas

dans les appareils à balais liquides. Ces derniers permettent donc de ramener à une dizaine de volts la limite inférieure de tension économique de transformation. Quelle est la limite supérieure? Il est encore trop tôt pour la fixer; cependant nous espérons atteindre plusieurs milliers de volts. Aux tensions de cet ordre, les rendements des deux machines seront sensiblement les mêmes et d'autres facteurs interviendront dans la comparaison ; ce seront, par exemple, la réversibilité, l'appareillage auxiliaire, le prix de revient, le poids de cuivre du transformateur statique, la facilité de l'entretien et des réparations. Pour l'instant, nous nous en tiendrons donc à la conclusion suivante : mieux qu'un concurrent, le convertisseur à balais liquides est un complément du redresseur à vapeur de mercure.

André Latour,
Ingénieur I. E. G.

Contribution à l'étude hydrologique du versant ouest du Plateau central

La connaissance des régimes des cours d'eau s'impose non plus seulement en agriculture, mais encore dans l'exploitation des réseaux de distribution d'énergie électrique alimentés par des usines qui transforment l'énergie hydraulique de ces cours d'eau; il est en effet nécessaire de connaître ces régimes pour pouvoir se rendre compte du meilleur parti que l'on peut tirer, dans les conditions les plus économiques, de l'énergie disponible dans telle région pour l'alimentation en énergie électrique de cette même région et des régions avoisinantes. Mais, d'autre part, l'étude des régimes des cours d'eau nécessite le relevé de statistiques s'étendant sur de nombreuses années et qui permettront d'établir des lois générales relatives à ces régimes. Dans les « Annales de l'Hydraulique agricole » (*) a paru récemment une étude de M. Martinet sur l'étude hydrologique du versant ouest du Plateau central. étude dont l'article qui suit est un extrait. L'auteur y rend compte des résultats d'observation durant les années 1919 à 1927 et commente ces résultats pour en tirer quelques conclusions pratiques qu'il importe toutefois de ne pas généraliser trop rapidement, étant donné, comme le fait remarquer l'auteur, la complexité des facteurs qui interviennent dans les phénomènes observés.

I. **Introduction**. — Le Service des Forces hydrauliques du Centre, qui relève du Ministère de l'Agriculture pour les études hydrographiques, possède maintenant sur les caractéristiques hydrauliques des cours d'eau du versant ouest du Plateau Central, des renseignements statistiques assez nombreux et surtout assez sûrs pour qu'on puisse commencer d'en faire des discussions d'ensemble, susceptibles d'intéresser, en particulier, les nombreux aménagements de sources d'énergie hydraulique réalisés ou projetés dans cette région.

Le réseau hydrographique envisagé s'étend sur la région située à l'ouest de la ligne de direction approximative nord-sud, joignant les sommets du Puy-de-Sancy et du Puy-Mary (fig. 1). Il se rattache aux bassins de la Dordogne, d'une part, et de la Loire, par la Vienne, le Cher et la Sioule, d'autre part.

II. **Résultats**. — Des séries complètes d'observations quotidiennes d'échelles hydrométriques installées sur ces cours d'eau ont été obtenues, de 1919 à 1927, soit neuf années, durée suffisante pour permettre d'attribuer une bonne généralité aux résultats moyens de toutes ces séries. Plus de 700 jaugeages tarant ces échelles ont été effectués; enfin, dans le dépouillement des résultats, on a éliminé le plus possible l'influence des erreurs d'observations ou d'expériences par des recoupements systématiques.

Un premier fait se dégageant des résultats d'ensemble est l'analogie de régime entre ces divers cours d'eau. Cette parenté apparaît de façon frappante si l'on confronte, pour une même période, les graphiques des débits mensuels moyens de diverses rivières de cette région. On peut le vérifier sur le graphique de la figure 2. Il représente les débits mensuels moyens rapportés au kilomètre carré de bassin versant de quatre stations échelonnées sur la Dordogne. Il est typique de noter que le parallélisme des débits se conserve très régulièrement, dans l'ensemble, de Bort à Domme, par exemple, alors que les bassins versants y sont dans le rapport de 1 à 8,5, ce qui prouve bien la similitude de l'alimentation et dans le bassin supérieur, au dessus de Bort (comprenant en particulier la Haute-Dordogne et le Chavanon) et dans tout le bassin complémentaire de Bort à Domme (comprenant en particulier la Rhue, la Maronne, la Cère, la Diège, la Luzège, etc.).

Pour les études plus détaillées, il est nécessaire d'apporter des réserves à cette idée générale de similitude de régime et des différences systématiques sont à signaler. Elles apparaîtront ci-après :

1. Débits moyens. — On peut résumer dans le tableau I l'essentiel des résultats acquis, qui donne pour les cours d'eau les mieux étudiés les débits moyens de la période 1919-1927, débits rapportés au kilomètre carré de bassin versant ; afin de faciliter les comparaisons les mêmes résultats sont consignés sur la figure 1.

On peut de là distinguer trois groupes d'alimentation :

1° Alimentation très forte (supérieure à 30 l : s par kilomètre carré) où l'on trouve les rivières formant le bassin de la Rhue, la Cère et la Maronne, la Vézère en amont d'Uzerche, le Doustre et la Vienne en amont du Fournet;

2° Alimentation forte et moyenne (de 20 à 30 l : s par kilomètre carré) où l'on trouve la Dordogne, la Luzège, le Triouzounne, la Maude, le Thaurion, la Diège et le Chavanon;

3° Alimentation faible et très faible (moins de 20 l : s par

(*) C. Martinet. *Annales de l'Hydraulique agricole* (Ministère de l'Agriculture), mai 1930, fascicule 58.

TABLEAU I. — *Débits moyens relevés de 1919 à 1927.*

RIVIÈRES	STATIONS D'ÉTUDE	BASSIN VERSANT	DÉBIT MOYEN POUR LA PÉRIODE ENTIÈRE 1919-1927
		km²	l : s par km²
I. Bassin de la Dordogne.			
La Rhue.....	Condat	186	35 7
La Santoire...	Condat	172	31 5
La Tarentaine.	Champs	166	37
La Dordogne ..	Bort	1 017	28 8
	Vernéjoux	2 551	27 4
	Argentat	4 418	27 7
	Domme	8 705	23 5
La Maronne....	Estourocs	533	34
La Cère.....	Basteyroux	821	29 3
La Cère.....	Laroquebrou	762	29 1
La Vézère.....	Uzerche	601	29 3
	Treignac	234	37 3
Le Doustre.....	La Roche Canillac	186	30 4
La Luzège.....	Lapleau	402	28 7
La Triouzounne.	Neuvic	105	26 1
La Diège.....	Rotabourg	485	20 1
Le Chavanon...	La Cellette	362	21
II. Bassin de la Loire.			
La Vienne.....	Le Fournet	223	30 5
La Maude.....	Bujaleuf	322	25 2
Le Thaurion....	Pontarion	389	20 9
La Creuse	Eguzon	2 450	13 2
La Gartempe...	Bessines	595	15 8
La Rozeille	Confolens	187	15 4
La Tardes.....	Chambon	860	10 2
Le Cher.....	Chambouchard	356	10 2
Le Sioulet	Pontaumur	344	15 8

kilomètre carré) où l'on trouve la Gartempe, le Sioulet, la Creuse à Eguzon, le Cher.

L'analyse du jeu des facteurs influant principalement sur l'alimentation : hauteur des précipitations, relief, nature du sol, éclaire ces résultats; en particulier l'examen de la répartition des pluies vient confirmer et expliquer l'existence prouvée par les résultats de débits ci-dessus, de deux nœuds de précipitations élevées : l'un sur les massifs du Mary et du Sancy, l'autre sur le plateau de Millevaches. Les rivières à alimentation très forte procèdent de ces deux groupes.

De même, l'orientation des vallées par rapport aux vents pluvieux joue un rôle essentiel, et pour la région envisagée, les débits décroissent régulièrement, à mesure que les vallées tournent de la direction Sud-Ouest, Nord-Est vers la direction Nord-Sud. Noter dans ce sens la Vézère, la Vienne, le Thaurion, la Creuse et le Cher.

Quant à l'influence de la nature du sol, on peut en juger en considérant les débits de crues et d'étiage des cours d'eau examinés.

2. DÉBITS DES CRUES. — Des jaugeages précis de débits atteignant 200 l : s par kilomètre carré ont pu être exécutés, ce qui a permis d'extrapoler les courbes de débit dans des conditions satisfaisantes. Par contre, on a été limité dans la connaissance des plus hautes cotes atteintes aux échelles, et dans les cas les plus favorables on n'a pu retrouver les crues maxima que pour le dix-neuvième siècle seulement. Il est donc prudent de prévoir un dépassement possible, que donnerait une crue millénaire, des valeurs données ci-après.

Dans le bassin des Rhues, on a eu quelque 1 200 l : s par kilomètre carré, sur la Cère à Laroquebrou; le débit maximum au cours du dix-neuvième siècle (novembre 1849) a pu dépasser 700 l : s par kilomètre carré sur la Maronne aux Estourocs; on a dû, depuis 1900, atteindre, et voire même dépasser, à plusieurs reprises, 500 l : s par kilomètre carré. Sur la Dordogne, à Argentat, le maximum au cours du dix-neuvième siècle (septembre 1866) a dû dépasser 500 l : s par kilomètre carré.

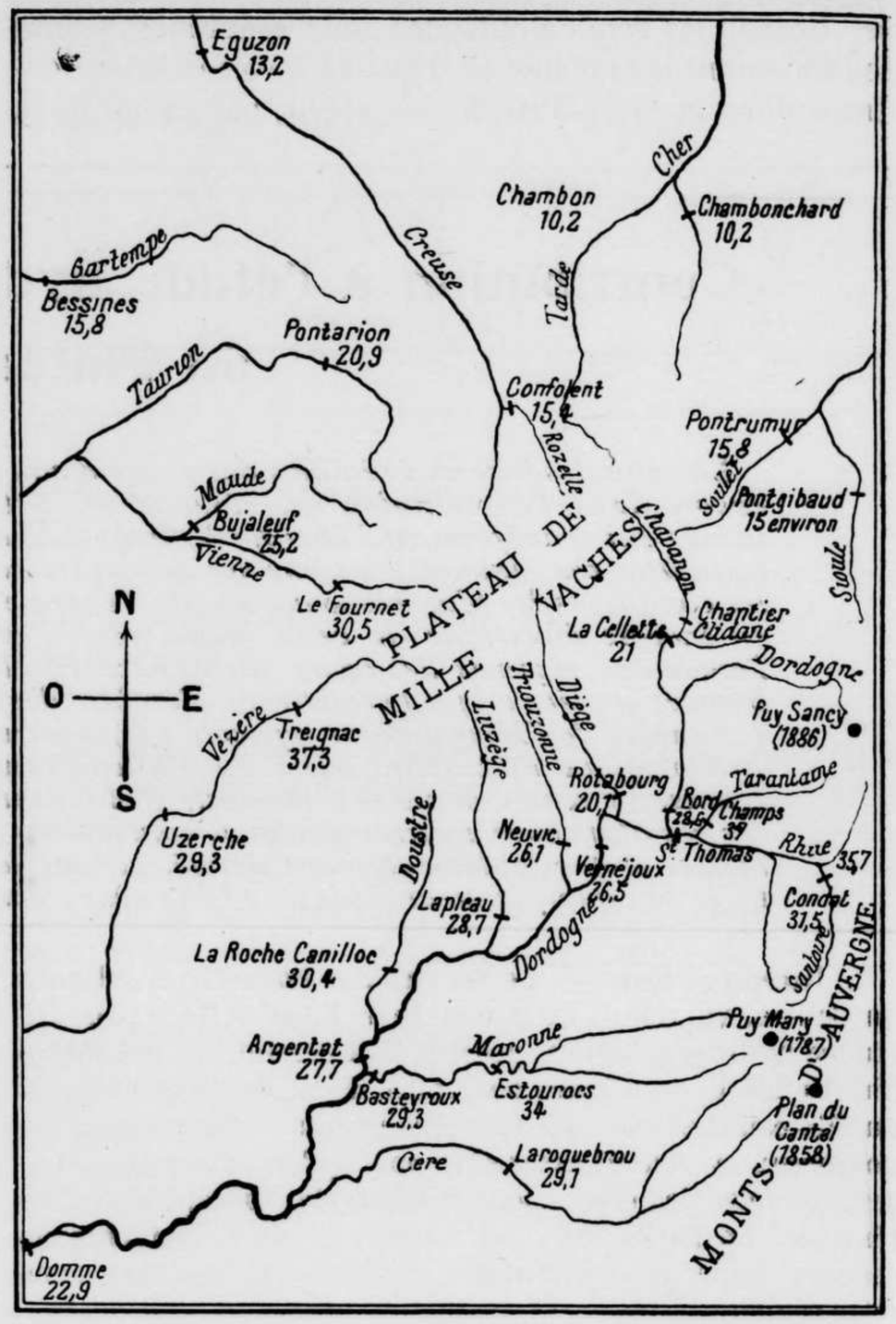


Fig. 1. — Carte du réseau hydrographique à l'ouest de la ligne joignant les sommets du Puy-de-Sancy et du Puy-Mary.

Dans le groupe de rivières venant du plateau de Millevaches, les maxima des débits des crues sont nettement plus faibles : la Vézère à Uzerche dépasse très rarement 300 l : s par kilomètre carré; il en est de même pour la Vienne au Fournet; le débit du Thaurion, dans son maximum au cours du dix-neuvième siècle (mai 1835), n'a dû dépasser que de peu 240 l : s par kilomètre carré.

3. DÉBITS D'ÉTIAGE. — Pour résumer, on peut noter que dans le bassin des Rhues, sur la Cère, la Maronne, on tombe assez fréquemment (il semble normal d'admettre un étiage très accusé tous les trois ou quatre ans) à un débit caractéristique d'étiage voisin de 1 l : s par kilomètre carré. Par contre, sur la Vézère, la Vienne supérieure, le haut Thaurion, dans les grandes sécheresses, le débit caractéristique d'étiage se maintient voisin de 3,5 à 4 l : s par kilomètre carré.

L'existence de groupes de résultats aussi distincts, tant

pour les crues que pour les étiages, s'explique par les différences existant dans la topographie et la géologie des deux nœuds hydrographiques susvisés : monts d'Auvergne et plateau de Millevaches.

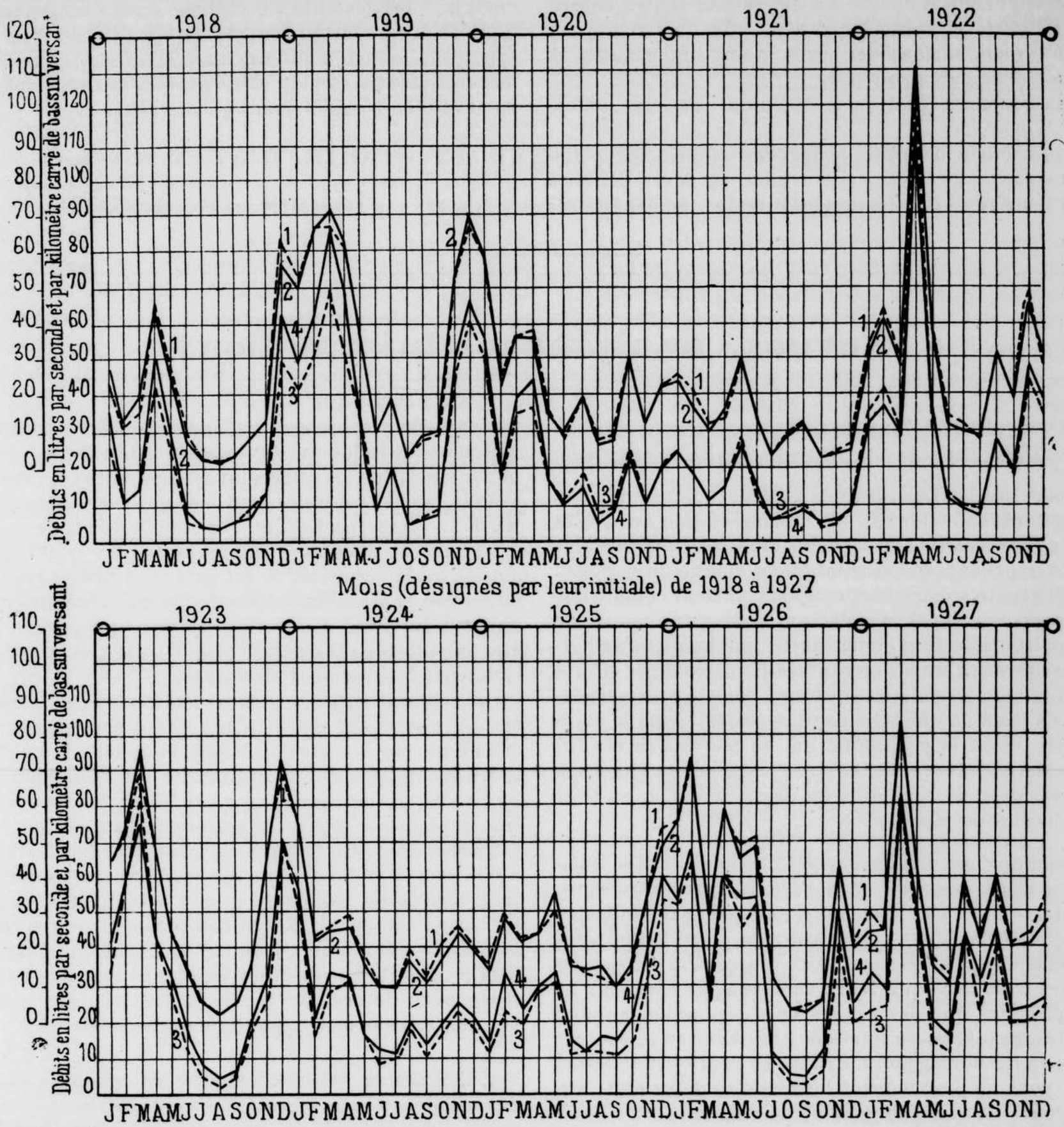


Fig. 2. — Graphique (1) des débits mensuels moyens de la Dordogne, de 1923 à 1927, en litres par seconde et par kilomètre carré de bassin versant aux stations de : 1, Domme (bassin versant 8705 km²); 2, Argentat (bassin versant, 4418 km²);3, Vernéjoux (bassin versant, 2551 hm²); 4, Bort (bassin versant, 1017 km²).

(1) Les débits, rapportés au kilomètre carré, ont été affectés, pour chaque station, d'un coefficient de correction K obtenu ainsi : le module de la station d'Argentat pour toute la période 1918-1927 (dix ans), étant pris comme base, on a adopté pour chaque station le rapport (arrondi) entre ce module de base et celui relevé à la station considérée pour la même période. On a obtenu ainsi les coefficients suivants (celui d'Argentat étant évidemment $K = 1$) :

Domme : $K = 1{,}20$. Bort et Vernéjoux : $K = 1$.

Pour faciliter la lecture des graphiques, on a divisé les quatre stations en deux groupes dont l'origine des temps reste commune, mais dont l'origine des débits a été décalée d'un groupe à l'autre. D'une part, Vernéjoux et Bort avec l'origine inférieure et, d'autre part, Argentat et Domme décalée au-dessus.

Dans chaque groupe, on peut généralement distinguer les deux tracés; lorsqu'on n'en n'aperçoit qu'un, c'est qu'ils sont confondus.

Avant de conclure, on peut encore noter que ces résultats s'insèrent d'intéressante façon dans les considérations sur les caractéristiques hydrauliques des cours d'eau, établies en 1920 par M. Coutagne (1).

III. **Conclusions**. — Malgré une similitude très générale, les divers cours d'eau du versant ouest du Plateau Central présentent des variétés de régimes dérivant de la géographie physique de la région. Dans un premier schéma d'ensemble on peut distinguer l'alimentation genre « monts d'Auvergne » de celle genre « Millevaches ». La première

(1) Aimé Coutagne; Considérations sur les éléments caractéristiques du régime d'un cours d'eau. *Revue générale de l'Electricité*, 28 août 1920, t. VIII, p. 265-278.

peut se caractériser par la valeur élevée de ses débits moyens, la violence et l'importance de ses crues, la faiblesse de ses débits d'étiage. La deuxième, toutes choses égales d'ailleurs, présente en général des débits moyens plus faibles, mais surtout des crues moins importantes et des débits d'étiage plus soutenus.

Des conséquences pratiques découlent de ces indications.

Pour toute étude détaillée ou très importante, à quelque chef, d'un cours d'eau de cette région, on devra éviter, à défaut ou pour renforcer les études directes, de généraliser sans discernement les résultats obtenus sur un cours d'eau voisin. Au préalable, il conviendra de comparer soigneusement tous les facteurs du régime. Pour l'importante question des crues, chaque cas devra faire l'objet d'un examen approprié, lequel, d'ailleurs, avec les procédés modernes de mesures pourra, le plus souvent, être fait plus rationnellement et plus complètement qu'autrefois.

M. Martinet,
Ingénieur T. P. E., au
Service des Forces hydrauliques du Centre.

Revues, analyses et informations

Progrès réalisés dans la technique de la construction des isolateurs sans ciment (1).

1. Introduction. — Les résultats d'essais indiqués dans cet article mettent en évidence que la cimentation des pièces métalliques des isolateurs suspendus crée dans la porcelaine des efforts tranchants qui en diminue la charge de rupture. Cette particularité apparait nettement si on tient compte que dans les premiers types d'isolateurs suspendus munis de pivots de petit diamètre et cimentés sur une longueur importante, il ne survenait jamais de rupture diamétrale par efforts de dilatation radiale, mais, au contraire, dans le sens perpendiculaire. La cause d'une telle rupture résidait dans le manque d'élasticité de la porcelaine, qui ne pouvait suivre les allongements du pivot. L'adhérence externe du ciment à la porcelaine produit, bien qu'à un degré moindre, un effet analogue à celui précité.

2. Description des isolateurs sans ciment. — Les isolateurs, dont il est question dans l'article qui nous occupe, ont leur chape fixée à la porcelaine, non plus par l'intermédiaire de ciment mais par une ceinture de métal fondu entre le fer de la chape et la porcelaine. La disposition des parties métalliques y est telle que leurs variations de longueur ne peuvent produire que des efforts de compression au lieu d'efforts tranchants ou de traction. Afin d'éviter la rupture des pivots en fer homogène, constatée au cours de nombreux essais, et pour ne pas modifier les attaches désormais normalisées, on a décidé d'adopter des pivots en acier; néanmoins, en pratique, il vaut mieux s'en tenir aux pivots en fer homogène dont l'allongement est supérieur à celui de l'acier et pour lesquels il n'y a pas à craindre une cristallisation lente de la matière.

3. Résultats d'essais et avantages des isolateurs sans ciment. — Les essais ont été effectués au laboratoire du Real Politecnico di Milano, sur divers types d'isolateurs et les résultats en sont consignés dans un tableau. Les essais de rupture ordinaire ont été complétés par des essais mécaniques de longue durée (de vingt jours à plusieurs mois).

D'ailleurs, les résultats de ces essais de laboratoire sont amplement confirmés par une pratique déjà longue de trois ans dans de nombreuses exploitations. Et on peut affirmer que pour les isolateurs équipés sans cimentation des pièces métalliques, les caractéristiques mécaniques ne varient pas avec le temps, contrairement à ce qui survient sur les isolateurs au ciment, ainsi que l'ont établi de nombreux essais.

Un autre avantage indiscutable des isolateurs sans ciment est la récupération intégrale des parties métalliques, lors d'une rupture des isolateurs, ce qui diminue considérablement les frais d'entretien puisque ces parties peuvent être réutilisées sans autre, ce qui n'est pas le cas pour les isolateurs à scellement au ciment.

On pourrait opposer à tous ces avantages, le risque de chute de la chape ou du pivot due à une fusion du joint métallique par des arcs prolongés et de forte intensité; mais le fait qu'un très grand nombre de ces isolateurs sont en service depuis de nombreuses années en Suisse et en Italie, sans qu'il en soit résulté de mécomptes, suffit à faire tomber cette objection. A cet égard, on peut citer le cas d'une ligne à 60000 v des Chemins de fer de l'Etat italien sur laquelle sont utilisés des isolateurs à joint avec fixation de la chape au moyen de plomb. Après deux années d'exploitation, la porcelaine s'étant, en raison des embruns, incrustée de sel, il se produisit sur quelques isolateurs des arcs assez puissants pour déterminer la fusion des chapes; néanmoins, ces dernières demeurèrent fixées aux isolateurs.

4. Conclusion. — Il est actuellement possible de trouver des isolateurs sans ciment, du type suspendu à chape et à pivot, pour lesquels on peut prescrire des conditions de réception telles, au point de vue mécanique, que la rupture n'ait lieu que sur le pivot en fer, pivot désormais normalisé au diamètre de 16 mm.

L'emploi des isolateurs sans ciment a aussi permis d'amener la charge de rupture de l'isolateur à être celle d'une pièce de fer homogène qui est le matériau présentant les caractéristiques les plus constantes parmi ceux employés en construction mécanique.

Il est superflu d'insister sur les conséquences d'une telle garantie en ce qui concerne la sécurité d'exploitation.

Enfin, et ce n'est pas là le moindre avantage, on pourra revenir sans crainte aux isolateurs en porcelaine bien vitrifiée, employés jadis quand la question du « vieillissement » des isolateurs n'était pas prise en considération. — R. G.

(1) E. Alessandri. *L'Elettrotecnica*, 5 avril 1930, t. xvii, p. 222-224, 1200 mots, 6 figures.

SECTION ÉCONOMIQUE & FINANCIÈRE

Importations et exportations françaises pendant les six premiers mois de l'année 1930

Comme dans les précédents articles publiés sous ce titre, les nombres figurant dans les tableaux qui suivent sont extraits de la « Statistique mensuelle du Commerce extérieur de la France » éditée par la Direction générale des Douanes du Ministère des Finances. Ils se rapportent au *commerce spécial*, qui comprend, pour l'importation, les marchandises mises en consommation en France et, pour l'exportation, les marchandises d'origine française exportées et celles d'origine étrangère ou coloniale qui, admises en franchise ou nationalisées par le paiement des droits, sont renvoyées à l'étranger.

Les poids indiqués à l'importation sont, pour les marchandises exemptes de droits ou taxées à 1,50 fr par kilogramme au plus, les *poids bruts* résultant des constatations du Service des Douanes ou des déclarations des commerçants et, pour les marchandises taxées à plus de 1,50 fr par kilogramme, le *poids net*. A l'exportation il n'est tenu compte que du *poids brut*.

Quant aux valeurs, il est fait état, à l'importation depuis 1921 et à l'exportation depuis 1927, des *valeurs déclarées* ; antérieurement, les valeurs étaient calculées sur la base des *derniers taux arbitrés* par les membres de la Commission permanente des Valeurs en Douane.

Les nombres indiqués pour les années 1928 et 1929 sont définitifs ; ceux de l'année 1930 ne sont que provisoires.

I. Commerce extérieur de la France.

Valeurs des importations et des exportations. — Le tableau I montre que la valeur des importations du premier semestre 1930 est voisine de 27 milliards de francs dont plus de 5 milliards pour les objets d'ali-

Tableau I. — Commerce extérieur spécial de la France.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES SIX PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929 ET 1913. (Page 8 des documents officiels.)

PAGES DES DOCUMENTS OFFICIELS		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN TONNES MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1913	1930	1929	1913
8	IMPORTATIONS	I. Objets d'alimentation (A)....	2 619 914	3 451 763	2 620 648	5 023 167	6 989 096	842 851
		II. Matières nécessaires à l'industrie (B).....	26 581 116	24 127 469	18 405 642	16 055 254	18 833 974	2 571 179
		III. Objets fabriqués.....	1 260 452	1 007 756	819 240	5 772 219	4 780 290	826 337
			30 461 482	28 586 988	21 845 530	26 850 640	30 603 360	4 240 367
		(A) Dont : Articles de production exclusivement exotique.....	535 525	487 544	297 925	1 501 961	1 913 565	187 784
		(B) Dont : Houille crue, carbonisée et agglomérée.....	15 924 523	14 532 840	11 344 200	2 365 607	2 004 941	290 618
8	EXPORTATIONS	I. Objets d'alimentation.....	1 012 002	683 378	591 972	3 154 019	2 989 552	420 632
		II. Matières nécessaires à l'industrie.....	15 093 641	16 070 739	8 345 730	5 352 238	6 358 615	908 603
		III. Objets fabriqués.....	2 445 021	2 549 736	1 112 784	14 156 892	15 369 205	2 043 011
			18 550 664	19 303 853	10 050 486	22 663 149	24 717 372	3 372 246

mentation, plus de 16 milliards pour les matières nécessaires à l'industrie et près de 6 milliards pour les objets fabriqués.

Dans la valeur des objets d'alimentation, les vins entrent pour plus de 806 millions de francs, les denrées coloniales (café, cacao, thé, etc.), pour 762,7 millions, les céréales pour 667 millions, les fruits de table pour 543 millions, les sucres et sirops pour 351 millions. Parmi les matières nécessaires à l'industrie, les métaux et minerais ont donné lieu à des importations d'une valeur de 1 841 millions de francs, dont plus de 862 millions pour le cuivre ; les matières textiles entrent dans le total pour 5 119 millions, dont 1 952 pour la laine, 1 879 pour le coton et 496 pour la

TABLEAU A. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux en ce qui concerne le commerce spécial pour les six premiers mois des années 1930 et 1929.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION		AUGMENTATION OU DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION		AUGMENTATION OU DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs	tonnes	milliers de francs
I. Objets d'alimentation.....	1 607 912	1 869 148	— 831 849	— 1 965 929			+ 328 624	+ 164 467
II. Matières nécessaires à l'industrie.	11 487 475	10 703 016	+ 2 453 647	— 2 778 720			— 977 098	— 1 006 377
III. Objets fabriqués..			+ 252 696	+ 991 929	1 184 569	8 384 673	— 104 715	— 1 212 313
Variation du total des 3 catégories.....	11 910 818	4 187 491	+ 1 874 494	— 3 752 720			— 753 189	— 2 054 223

TABLEAU B. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux des principaux articles de matériel électrique pour les six premiers mois des années 1930 et 1929.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1930 DES IMPORTATIONS SUR LES EXPORTATIONS		AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		SUPÉRIORITÉ EN 1930 DES EXPORTATIONS SUR LES IMPORTATIONS		AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs
I. Machines dynamo-électriques	29 033	70 547	38 527	64 994							4 669	2 687
II. Appareils électro-techniques.	3 363	60 988	12 915	22 821					8 909	25 197		
III. Bâtis et carcasses.....	3 334	1 373	3 421	1 511							412	309
IV. Lampes à incandescence.....		33 968		1 281	501		695		1 240	3 837		
V. Lampes à arc.....			4	99			193	678		270	26	
VI. Charbons pour usages électriques.					3 268	1 781	10 452	7 609	7 104	5 546		
VII. Fils et câbles					13 841	11 352	14 902	19 321	11 654	15 768		
VIII. Pièces détachées.....			4 265	11 650			8 377	3 245	3 521	8 548		
IX. Aimants ...	138	691	101	181						10	3	
X. Accumulateurs			4 300	2 809			6 297	11 739	1 092	529		
XI. Piles		132	897	1 978			1 710				1 037	601
XII. Pièces en porcelaine, en verre, etc.			1 045	1 158			17 995	7 651	520	2 970		
	35 868	167 699	65 475	108 482	17 610	13 133	60 621	50 243	34 040	62 675	6 147	3 597

soie; le charbon et le coke importés ont coûté 2 365 millions de francs, les huiles et essences minérales, 1 491 millions; notons aussi les graines et fruits oléagineux, dont la valeur entre dans le total pour 1 164 millions, les bois pour 701, les peaux et pelleteries pour 238, le caoutchouc pour 578, les perles et pierres précieuses pour 503 millions de francs. Dans le groupe des objets fabriqués, les produits chimiques figurent

Tableau I bis. — Répartition, suivant les principaux pays, du commerce spécial.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES SIX PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930 ET 1929 (pages 318 et 319 des documents officiels)

DÉSIGNATION DES PUISSANCES	IMPORTATIONS 1930	IMPORTATIONS 1929	augmentation des importations de 1930 sur 1929	diminution des importations de 1930 sur 1929	EXPORTATIONS 1930	EXPORTATIONS 1929	augmentation des exportations de 1930 sur 1929	diminution des exportations de 1930 sur 1929
	milliers de francs				milliers de francs			
Allemagne	3 944 257	3 025 171	919 086		2 202 095	2 339 167		137 072
Brésil	421 519	576 987		155 468	161 675	241 780		80 105
Canada	181 161	545 461		364 300	215 490	278 808		63 318
Danemark	71 518	54 314	17 204		195 996	163 761	32 235	
Egypte	396 661	600 556		203 895	293 544	330 006		34 462
Espagne	777 283	833 617		56 334	628 492	847 160		218 668
Etats-Unis	3 341 594	3 823 804		482 210	1 265 229	1 531 787		266 558
Grande-Bretagne	2 840 388	2 991 085		150 697	3 572 116	3 776 277		204 161
Grèce	49 232	56 654		7 422	121 934	243 851		121 917
Italie	732 387	780 812		48 425	922 995	1 132 445		209 450
Japon	150 500	143 799	6 701		86 959	122 369		35 410
Norvège	168 208	122 832	45 376		81 760	52 161	29 599	
Pays-Bas	828 739	798 886	29 853		649 902	606 542	43 360	
Pologne	137 951	132 344	5 607		162 079	233 642		71 563
Portugal	88 614	111 175		22 561	135 635	140 618		4 983
République argentine	572 666	1 308 265		735 599	439 947	556 783		116 836
Roumanie	133 997	88 296	45 701		86 475	75 990	10 485	
Serbie-Croatie-Slovénie	84 120	87 141		3 021	48 512	49 388		876
Suède	338 958	304 845	34 113		167 856	113 508	54 348	
Suisse	580 025	526 071	53 954		1 635 832	1 661 078		25 246
Tchécoslovaquie	134 664	110 864	23 800		106 214	127 400		21 186
Turquie	93 544	91 635	1 909		98 917	192 534		93 617
Union économique belgo-luxembourgeoise	2 091 401	2 001 778	89 623		3 044 199	3 527 530		483 331
U. R. S. S.	441 022	386 677	54 345		119 627	93 504	26 123	
Chine (A)	375 764				77 151			
Syrie (B)	29 088	7 469 139		2 121 527	82 724	1 707 525		212 246
Autres pays étrangers	4 942 760				1 335 404			
TOTAUX des pays étrangers	23 948 021	26 972 208	1 327 272	4 351 459	17 940 759	20 145 614	196 150	2 401 005
Afrique occid. française	440 335	443 539		3 204	261 484	275 816		14 332
Algérie	1 296 790	1 657 101		360 311	2 577 757	2 088 716	489 041	
Indo-Chine	269 145	371 740		102 595	456 412	500 430		44 018
Madagascar et dépendances	124 627	200 132		75 505	133 516	212 369		78 853
Maroc	136 973	227 900		90 927	567 645	691 083		123 438
Tunisie	289 847	313 183		23 336	452 152	488 428		36 276
Autres colonies et pays de protectorat	344 902	417 557		72 655	273 424	314 916		41 492
TOTAUX des colonies françaises et pays de protectorat	2 902 619	3 631 152		728 533	4 722 390	4 571 758	489 041	338 409
TOTAUX GÉNÉRAUX	26 850 640	30 603 360	1 327 272	5 079 992	22 663 149	24 717 372	685 191	2 739 414
	DIMINUTION pour les 6 premiers mois de 1930		3 752 720		DIMINUTION pour les 6 premiers mois de 1930		2 054 223	

(A) Antérieurement au mois de janvier 1930, la Chine était confondue dans la *Statistique mensuelle* avec les autres pays étrangers.
(B) Antérieurement au mois de février 1930, la Syrie était confondue dans la *Statistique mensuelle* avec les autres pays étrangers.

Tableau II. — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES SIX PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929 ET 1928.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
	IMPORTATIONS	I. Machines dynamoélectriques :						
524 A		Machines dynamoélectriques et transformateurs industriels à sec ou immergés.	57 946	18 843	12 644	108 677	42 262	28 920
524 B		Machines dynamoélectriques pour l'équipement des véhicules automobiles de toutes sortes (voitures, bateaux, aérostats, appareils d'aviation, etc.,) combinées avec des appareils d'allumage pour moteurs à explosion (magnétos ou autres).....	136	712	799	951	2 372	2 503
524[2]		II. Appareils électriques et électrotechniques (voir tableau II bis).....	40 103	27 188	13 869	156 657	133 836	68 005
533[8]		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques, croisillons d'induits, fourreaux de collecteurs, pôles pleins de dynamos et alternateurs.....	3 446	25	6	1 542	31	23
361		IV. Lampes à incandescence, lampes-valves, etc (voir tableau II ter).....	3 798	4 299	3 112	51 927	50 646	37 096
536[2]		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier.....	14	10	11	149	50	87
302		VI. Charbons pour usages électriques :						
		Pour lumière électrique à arc, pour fours électriques et électrolyse, carbone amorphe ou graphite.....	6 309	9 584	7 609(1)	4 388	6 582	6 601(1)
		Balais pour machines électriques, charbons pour balais.....	173	166		2 248	1 835	
535[3]		VII. Fils et câbles pour l'électricité :						
		Enduits ou isolés de caoutchouc, gutta percha, balata ou de toute autre matière, avec âme en métal commun...	18 171	35 436	9 847	17 932	32 113	8 848
		Non isolés par l'application de caoutchouc ou de toute autre matière analogue, gaines, avec enveloppe de plomb ou recouverts d'émail.....	3 966	707	3 362	5 144	3 055	4 766
		Cordons souples pour connexions, recouverts extérieurement de textiles.....	236	71	45	1 347	607	379
536		VIII. Pièces détachées se rapportant à l'électricité (voir tableau II quater).....	7 303	3 038	3 799	25 091	13 441	11 151
536[3]		IX. Aimants (à l'exclusion des électroaimants).	212	111	111	843	662	369
576[3]		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées.....	9 141	4 841	3 324	6 155	3 346	2 606
		XI. Piles et condensateurs :						
576[4]		Piles sèches.....	272	170	130	414	211	177
		Piles à liquides (y compris les coffres et batteries).....	5	3	7	5	2	27
		Parties et pièces détachées.....	154	37	2	221	86	3
576[5]		Condensateurs et pièces détachées.....	901	225	67	2 490	853	449
347[2]		XII. Pièces pour l'électricité, en faïence, porcelaine, grès blanc ou de couleur, poterie, verre, cristal, etc. :						
		Sans parties de métal ou d'autres matières	1 906	1 749	1 048	1 704	1 672	978
		Avec parties ou garnitures de métal...	2 793	1 905	347	2 728	1 602	577
			156 985	109 120	60 139	390 613	295 264	173 565

(1) Ces nombres comprennent non seulement ceux relatifs aux charbons pour usages électriques, mais aussi ceux qui concernent les charbons pour tous autres usages industriels.

dans la valeur des importations pour 665 millions, les produits des industries mécaniques pour 2 664 millions de francs dont 1 360 pour les machines motrices à vapeur et autres.

Tableau II *(suite)* — Matériel électrique.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES SIX PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929, 1928.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
524 A	EXPORTATIONS	I. Machines dynamoélectriques : Machines dynamoélectriques et transformateurs industriels à sec ou immergés.	27 481	32 467	41 990	36 318	39 744	49 932
524 B		Machines dynamoélectriques pour l'équipement des véhicules automobiles de toutes sortes (voitures, bateaux, aérostats, appareils d'aviation, etc.,) combinées avec des appareils d'allumage pour moteurs à explosion (magnétos ou autres)	1 568	1 251	2 165	2 763	2 024	3 688
524[2]		II. Appareils électriques et électrotechniques (voir tableau II bis)	36 740	27 831	28 777	95 669	70 472	69 326
533[8]		III. Bâtis et carcasses de dynamos et de moteurs électriques, croisillons d'induits, fourreaux de collecteurs, pôles pleins de dynamos et alternateurs	112	524	458	169	478	504
361		IV. Lampes à incandescence, lampes-valves, etc (voir tableau II ter)	4 493	3 253	3 191	17 959	14 122	11 854
536[2]		V. Lampes à arc et pièces détachées en fer ou en acier	207	233	72	827	557	205
302		VI. Charbons pour usages électriques : Pour lumière électrique à arc, pour fours électriques et électrolyse, carbone amorphe ou graphite	13 245	7 402	15 980(1)	4 751	3 023	12 748(1)
		Balais pour machines électriques, charbons pour balais	3 689	2 428		9 494	5 676	
535[3]		VII. Fils et câbles pour l'électricité : Enduits ou isolés de caoutchouc, gutta percha, balata ou de toute autre matière, avec âme en métal commun	31 747	21 177	19 800	37 620	23 727	18 091
		Non isolés par l'application de caoutchouc ou de toute autre matière analogue, gaines, avec enveloppe de plomb ou recouverts d'émail	5 426	4 423	2 794	5 902	4 199	2 614
		Cordons souples pour connexions, recouverts extérieurement de textiles	102	21	3	222	50	7
536		VIII. Pièces détachées se rapportant à l'électricité (voir tableau II quater)	15 680	12 159	7 633	28 336	19 788	14 038
536[3]		IX. Aimants (à l'exclusion des électro-aimants)	74	77	10	152	142	22
576[3]		X. Accumulateurs électriques et pièces détachées	15 438	14 346	9 689	17 894	17 365	9 665
		XI. Piles et condensateurs						
576[4]		Piles sèches	2 473	3 021	3 107	2 153	2 709	2 932
		Piles à liquides (y compris les coffres et batteries)	127	71	74	75	59	68
		Parties et pièces détachées	330	955	160	286	692	166
576[5]		Condensateurs et pièces détachées	112	32	130	484	139	272
347[2]		XII. Pièces pour l'électricité, en faïence, porcelaine, grès blanc ou de couleur, poterie, verre, cristal, etc. :						
		Sans parties de métal ou d'autres matières	19 413	19 287	15 088	9 392	7 118	5 781
		Avec parties ou garnitures de métal	3 281	2 887	1 942	2 691	1 995	1 432
			181 738	153 845	153 063	273 157	214 079	203 345

(1) Ces nombres comprennent non seulement ceux relatifs aux charbons pour usages électriques, mais aussi ceux qui concernent les charbons pour tous autres usages industriels.

La valeur des exportations, inférieure de plus de 4 milliards de francs à celle des importations, dépasse 22 milliards de francs, dont 3 milliards pour les objets d'alimentation, 5,3 milliards pour les matières néces-

Tableau II bis. — Appareils électriques et électrotechniques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
524 bis A	IMPORTATIONS	Appareils d'allumage des moteurs à explosion de toute espèce :						
		Magnétos donnant 2 étincelles par tour et autres appareils d'allumage destinés à des moteurs de 6 cylindres et moins	1 359	2 171	434	7 919	11 870	2 932
		Magnétos donnant 4 étincelles par tour et autres appareils d'allumage destinés à des moteurs de plus de 6 cylindres	71	113	90	814	1 062	768
		Magnétos à allumage jumelé et magnétos à double allumage	21		3	130	4	30
524 bis B		Appareils pour la coupure, le réglage, la protection, la distribution du courant électrique :						
		Appareils non automatiques	9 551	3 465	1 991	28 098	11 906	6 761
		Appareils automatiques importés à l'état complet	4 882	2 545	1 924	20 084	11 583	7 608
		Dispositifs automatiques importés séparément	45	63		470	341	
		Appareils de régularisation automatique de courant	227	115		1 932	1 036	
		Valves, tubes ou lampes à vapeur ou effluves pour les appareils ci-dessus :			141			810
		Avec récipients en verre ou transparents	3	3		555	193	
		Avec récipients métalliques	44			104	4	
524 bis C		Appareils de soudure électrique à l'exclusion des fers à souder électriques	456	366	201	1 211	972	464
524 bis D		Ventilateurs électriques à l'exclusion des ventilateurs d'habitation	974	356	397	2 164	966	932
524 bis E		Appareils pour la téléphonie, appareils pour la télégraphie autres que ceux repris ci-après	1 308	7 474	1 273	10 934	42 550	5 999
524 bis F		Appareil de télégraphie automatique ou rapide :						
		Montés sur table	9	4	8	247	69	117
		Sans table ni pied	13	5		484	184	51
524 bis G		Appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil à l'exclusion des lampes importées isolément	12 799	4 906	2 411	41 993	21 015	9 665
524 bis H		Appareils pour la signalisation et le contrôle électrique à distance, appareils pour la signalisation et la correspondance dans les chemins de fer avec ou sans boîte métallique	121	79	239	708	606	908
524 bis I		Appareils de mesure électrique, à l'exclusion des compteurs	626	403	306	6 455	4 171	2 778
524 bis I		Transformateurs afférents aux appareils ci-dessus	588	71	146	1 172	211	178
524 bis J		Appareils d'électricité médicale	815	584	415	3 931	3 316	1 820
524 bis K		Matériel de chauffage électrique	1 612	789	619	3 568	2 410	1 957
524 bis K		Objets composés de tissus, de pelleteries ou de matières analogues, équipés pour être chauffés électriquement	12	2	5	72	22	26
524 bis K		Tissus électriques ou chauffant à l'électricité	6	12	2	51	68	12
524 bis L		Fers à repasser électriques	82	61	24	86	83	44
523 bis M		Appareils électriques et électrotechniques à usage domestique et petit outillage électromécanique :						
		Aspirateurs de poussière, machines à cirer ou à encaustiquer, machines à cirer les chaussures	678	737		4 449	4 099	
		Machines frigorifiques domestiques, machines à récurer, machines à pétrir (pétrins à pâte, etc.)	386	410	1 053	1 103	1 405	7 701
		Perceuses, polisseuses, petites pompes, etc., machines à bois et appareils similaires	386	293		4 540	3 796	
524 bis N		Ventilateurs d'habitation	1 230	672		3 040	2 004	
		Appareils électriques et électrotechniques non mentionnés dans les paragraphes précédents :						
		Contenant des enroulements de fils métalliques isolés	1 356	1 180	1 331	8 335	5 773	6 062
		Ne contenant pas d'enroulements de fils métalliques isolés	443	309	856	2 008	2 117	10 382
			40 103	27 188	13 869	156 657	133 836	68 005

Tableau II bis *(suite)*. — Appareils électriques et électrotechniques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
524 bis A	EXPORTATIONS	Appareils d'allumage des moteurs à explosion de toute espèce	196	146	186	599	509	700
524 bis B		Appareils pour la coupure, le réglage, la protection, la distribution du courant électrique	7 291	3 425	3 584	10 580	4 663	4 565
524 bis C		Appareils de soudure électrique à l'exclusion des fers à souder électriques	212	159	88	461	217	150
524 bis D		Ventilateurs électriques à l'exclusion des ventilateurs d'habitation	884	556	2 509	1 129	746	3 428
524 bis E		Appareils pour la téléphonie, appareils pour la télégraphie autres que ceux repris ci-après	1 127	1 111	1 210	5 093	4 654	4 093
524 bis F		Appareils de télégraphie automatique ou rapide	145	115	134	1 612	944	500
524 bis G		Appareils de télégraphie et de téléphonie sans fil à l'exclusion des lampes importées isolément	4 638	3 875	3 495	23 596	19 664	17 170
524 bis H		Appareils pour la signalisation et le contrôle électrique à distance, appareils pour la signalisation et la correspondance dans les chemins de fer avec ou sans boîte métallique	346	106	49	1 406	365	129
524 bis I		Appareils de mesure électrique, à l'exclusion des compteurs et transformateurs afférents à ces appareils	332	273	180	2 179	1 889	1 221
524 bis J		Appareils d'électricité médicale	965	895	882	3 894	2 887	3 062
524 bis K		Matériel de chauffage électrique	1 082	1 219	632	2 514	1 853	989
524 bis K		Objets composés de tissus, de pelleteries ou de matières analogues, équipés pour être chauffés électriquement	1	2		2	6	
524 bis K		Tissus électriques ou chauffant à l'électricité	4	1	5	30	2	9
524 bis L		Fers à repasser électriques	141	179	106	187	288	164
524 bis M		Appareils électriques et électrotechniques à l'usage domestique et petit outillage électromécanique	3 594	2 770	1 271	7 797	5 334	2 866
524 bis N		Appareils électriques et électrotechniques non mentionnés dans les paragraphes précédents	15 782	12 999	14 446	34 590	26 451	30 280
			36 740	27 831	28 777	95 669	70 472	69 326

saires à l'industrie et plus de 14 milliards pour les objets fabriqués.

Dans le groupe des objets d'alimentation, la valeur des exportations de vins a été de 455 millions de francs (soit un peu plus de la moitié de celle des importations), celle des exportations de céréales de 552 millions (soit seulement 115 millions de moins que celle des importations), celle des exportations de sucres et sirops de 391 millions. Parmi les matières nécessaires à l'industrie, les métaux entrent dans la valeur totale des exportations pour 1846 millions de francs dont 1126 millions pour les fers et aciers ; les perles et pierres précieuses pour 403 millions. Dans le groupe des objets fabriqués nous relevons les valeurs suivantes : 1596 millions pour les produits chimiques, 2971 millions pour les produits des industries mécaniques, 4706 millions pour les fils et tissus, 1097 millions pour les objets d'habillement.

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — En examinant le tableau I on voit que le montant de nos importations pendant le premier semestre de l'année 1930 est inférieur d'environ 3753 millions de francs à celui relatif au premier semestre 1929 (soit de 12,2 pour 100), tandis que le montant de nos exportations n'a diminué que de 2054 millions (soit moins de 8,3 pour 100)

Les nombres des quatrième et huitième colonnes de chiffres du tableau A indiquent les variations de chacune des trois rubriques. Ils montrent que la valeur des objets d'alimentation importés a diminué, d'une année à l'autre, de 1966 millions de francs; celle des matières nécessaires à l'industrie de 2778 millions; par contre, celle des objets fabriqués a augmenté de 992 millions de francs. Pour les exportations, nous constatons : augmentation de 164 millions de francs pour les objets d'alimentation, diminution de 1006 millions pour les matières nécessaires à l'industrie, et de 2054 millions de francs

VALEUR DU COMMERCE EXTÉRIEUR ET BALANCE COMMERCIALE. — La somme des valeurs des importations et des exportations pour le premier semestre 1930 dépasse 49,5 milliards de francs, inférieure à celle correspondant à 1929 (55,3 milliards) et à celle de 1928 (51,4 milliards).

Le tableau A_1, qui donne les valeurs des importations et des exportations pendant chacun des mois de l'année 1929 et ceux du premier semestre 1930 permet de se rendre compte des fluctuations de notre balance commerciale durant cette période.

TABLEAU A_1. — *Valeurs, en milliers de francs, des importations et exportations pendant chacun des mois de l'année 1929 et du premier semestre 1930.*

	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS
1929 :		
Janvier	5 122 462	3 699 084
Février	5 148 987	4 113 172
Mars	4 968 733	4 172 823
Avril	5 143 715	4 419 445
Mai	5 061 457	3 958 909
Juin	5 165 042	4 349 341
Juillet	4 627 293	4 269 148
Août	4 339 533	3 804 235
Septembre	4 353 136	4 221 004
Octobre	4 515 576	4 385 958
Novembre	4 789 413	4 267 785
Décembre	5 019 755	4 396 484
1930 :		
Janvier	4 777 565	3 714 387
Février	4 807 926	4 017 787
Mars	4 431 115	3 958 428
Avril	4 565 779	3 887 769
Mai	4 102 929	3 732 961
Juin	4 165 326	3 351 817

RÉPARTITION DU COMMERCE EXTÉRIEUR SUIVANT LES PRINCIPAUX PAYS. — Cette répartition est donnée en détail dans le tableau I bis.

On voit que les pays qui ont le plus contribué à la diminution de nos importations sont : la République argentine (735,5 millions de francs), les Etats-Unis d'Amérique (482), le Canada (364), l'Egypte (204), le Brésil (155) et la Grande-Bretagne (150).

A l'exportation, la diminution est surtout notable pour : l'Union économique belgo-luxembourgeoise (483 millions de francs), les Etats-Unis (266), l'Espagne (218), l'Italie (209) et la Grande-Bretagne (204). A noter une augmentation importante de nos exportations en Algérie (489 millions de francs), augmentation qui dépasse très largement la diminution de nos exportations dans les autres colonies et pays de protectorat (338).

POIDS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — Si nous revenons maintenant au tableau I, nous constatons que pendant l'année 1930 le poids de nos importations dépasse 30 millions de tonnes et celui de nos exportations 18 millions de tonnes.

La comparaison des nombres relatifs aux années 1930 et 1929 indique que le poids de nos importations a augmenté de près de 2 millions de tonnes, alors que celui de nos exportations a diminué de 0,75 million de tonnes. La comparaison des nombres de 1930 avec ceux de 1913 montre que nos importations ont augmenté de près de la moitié et que nos exportations ont presque doublé.

Il résulte de l'examen des troisième et septième colonnes de chiffres du tableau A que le poids des importations a augmenté pour les matières premières et les objets fabriqués et diminué pour les objets d'alimentation, tandis que pour les exportations c'est l'inverse.

Enfin, en examinant les colonnes 1 et 5 du tableau, on voit que nous importons les objets d'alimentation et les matières nécessaires à l'industrie en quantités plus grandes que nous n'en exportons et que c'est l'inverse pour les objets fabriqués.

II. Importations et exportations de matériel électrique.

Les quantités et les valeurs des importations et exportations de matériel électrique pour les premiers semestres des années 1930, 1929 et 1928 sont données dans le tableau II.

Des nombres inscrits dans ce tableau, nous avons déduit ceux du tableau B qui font ressortir, d'une part, les différences entre nos importations et nos exportations de 1930, d'autre part, les augmentations ou diminutions, tant pour les valeurs que pour les poids, des importations et des exportations de 1930 sur celles de 1929. Nous avons conservé dans ces tableaux les divisions que nous avions adoptées dans les articles concernant les années antérieures avec toutefois quelques légères modifications dont nous avons indiqué les raisons dans l'article consacré aux importations et exportations pendant le premier trimestre de 1929 (1). Comme dans ce dernier article nous avons complété le tableau II par trois autres, les tableaux II bis, II ter et II quater, qui donnent le détail des importations et des exportations correspondant à trois des divisions du tableau II.

VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — Il résulte du tableau II que la valeur du matériel importé dépasse 390 millions de francs. Dans cette somme, le matériel compris sous la rubrique « Appareils électriques et électrotechniques » entre pour 156,6 millions, les machines dynamoélectriques pour 109 millions, les lampes à incandescence pour près de 52 millions, les fils et câbles pour 24,4 millions, les pièces détachées pour 25 millions de francs.

La seconde partie du même tableau montre que la valeur de nos exportations n'a été que de 273 millions de francs. Le matériel classé dans la rubrique : « Appareils électriques et électrotechniques » figure dans la valeur totale des exportations pour 95,6 millions de francs, les machines dynamoélectriques pour 40 millions, les fils et câbles pour 43,7 millions, les

(1) *Revue générale de l'Electricité*, 29 juin 1929, t. XXV, p. 1024.

Tableau II ter. — Lampes électriques.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES 1930	1929	1928	VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS 1930	1929	1928
361	IMPORTATIONS	Lampes électriques à incandescence :						
		Ampoules en verre, ouvertes et sans garniture....	504	669		1 023	1 097	
		Lampes à filaments dans le vide :						
		à filaments de carbone	19	23		162	323	
		à filaments métalliques, moins de 5 g	84	84		2 130	1 984	
		à filaments métalliques, de 5 à 15 g	71	113		1 637	1 997	
		à filaments métalliques pesant par unité 15 g et plus, munies de leur monture.	366	937		4 870	9 222	
		à filaments métalliques pesant par unité 15 g et plus, non munies de leur monture	1	39	2 583	35	470	25 608
		à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur, munies de leur monture.....	1 082	1 325		12 958	14 765	
		à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur, non munies de leur monture.	11	4		109	73	
361 bis		Autres appareils électriques (lampes-valves) :						
		à filaments incandescents, valves (lampes) de T.S.F.....	1 499	994	477	26 275	17 936	11 089
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents, à récipient en verre ou transparent.....	154	111	20	2 471	2 776	51
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents, à récipient métallique.....	9		32	257	3	348
			3 798	4 299	3 112	51 927	50 646	37 096
361	EXPORTATIONS	Lampes électriques à incandescence :						
		Ampoules en verre, ouvertes et sans garniture....	449	62		623	250	
		Lampes à filaments dans le vide, à filaments de carbone.....	185	150		571	548	
		Lampes à filaments dans le vide, à filaments métalliques....	3 339	2 647	3 191	11 376	10 273	11 854
		Lampes à filaments métalliques dans des atmosphères de gaz ou de vapeur	62	83		343	438	
361 bis		Autres appareils électriques (lampes, valves) :						
		à filaments incandescents, valves (lampes) de T.S.F.	449	305		4 983	2 571	
		à vapeur ou effluves incandescents ou fluorescents.	9	6		63	42	
			4 493	3 253	3 191	17 959	14 122	11 854

pièces détachées pour 28,5 millions, les lampes à incandescence pour près de 18 millions, les accumulateurs pour une somme sensiblement la même, les pièces en porcelaine ou en verre pour plus de 12 millions, les piles et condensateurs pour près de 3 millions de francs.

VARIATIONS DES VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS D'UNE ANNÉE A L'AUTRE. — Le tableau II nous montre que la valeur de nos importations est passée de 295,2 millions de francs en 1929 à 390,6 millions en 1930, augmentant de 95,4 millions, soit d'environ 34 pour 100; pour le premier semestre de 1929 l'augmentation avait atteint 71 pour 100 et pour l'année entière 1929 elle avait été de 50 pour 100. La quatrième colonne de chiffres du tableau B indique que dans cette augmentation, les machines dynamoélectriques entrent pour près de 65 millions de francs, les appareils électriques et électrotechniques pour 22,8 millions, les pièces détachées pour 11,6 millions de francs.

Pour les exportations, nous constatons que leur valeur est passée de 214 millions de francs en 1929 à 273 millions en 1930; il y a donc eu augmentation de 59 millions, soit de 28 pour 100. Si l'on se reporte aux dixième et douzième colonnes du tableau B, on voit que l'augmentation a été importante pour les rubriques suivantes : appareils électrotechniques, (25,2 millions), fils et câbles (15,7), pièces détachées (8,5), charbons pour usages électriques (5,5), lampes à incandescence (3,8)

VALEUR DU COMMERCE EXTÉRIEUR ET BALANCE COMMERCIALE. — La valeur de l'ensemble de nos importations et de nos exportations de matériel électrique pendant le premier semestre de l'année 1930 dépasse 663 millions de francs.

La balance commerciale accuse un déficit de plus de 117 millions de francs, alors qu'elle ne présentait qu'un déficit de 71 millions pour 1929, et qu'elle se soldait par un bénéfice d'environ 30 millions pour 1928.

Tableau II quater. — Pièces détachées se rapportant à l'électricité.

NUMÉROS DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES 1930	1929	1928	VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS 1930	1929	1928
536	IMPORTATIONS	Pièces d'appareils d'allumage pour moteurs à explosion de toute espèce (magnétos et autres) :						
		Rupteurs et parties de rupteurs	4	3	1	168	209	33
		Porte-charbons et parties de ces objets	1	28	104	32	148	239
		Distributeurs, bagues collectrices et partie de ces objets	59	183		567	954	
		Noyaux bobinés, et leurs pièces ou parties	24	135	67	155	662	232
		Condensateurs, armatures complètes et leurs pièces ou parties	24	10		280	244	
		Organes d'accouplement pour magnétos et autres appareils d'allumage	10	236	64	87	559	177
		Autres pièces	35	129	162	207	339	435
		Pièces détachées et assemblées pour appareils, standards et postes téléphoniques	398	154	162	2 574	1 307	1 396
		Electro aimants pesant 10 kg et moins par unité	7	13	10	49	43	114
		Pièces détachées (travaillées, pour machines électriques, transformateurs, appareillages) de plus de 200 kg.	1 024	486	3 229	1 941	1 246	8 525
		Pièces détachées (travaillées, pour machines électriques, transformateurs, appareillages) 200 kg et moins	5 717	1 661		19 031	7 730	
			7 303	3 038	3 799	25 091	13 441	11 151
536	EXPORTATIONS	Pièces d'appareils d'allumage et de dynamos pour l'équipement des véhicules automobiles	89	228	421	245	590	619
		Pièces détachées et assemblées pour appareils, standards et postes téléphoniques	329	141	231	1 343	568	444
		Electroaimants pesant 10 kg et moins par unité	2	81	10	12	126	16
		Pièces détachées (travaillées) pour machines électriques, transformateurs, appareillages, telles que : inducteurs, induits, bobinages, parties de rhéostats, de démarreurs, etc	15 260	11 709	6 971	26 736	18 504	12 959
			15 680	12 159	7 633	28 336	19 788	14 038

Poids des importations et des exportations. — La première colonne de chiffres du tableau II montre que le poids total des importations s'est élevé à 156 985 quintaux.

Dans cet ensemble, les machines dynamoélectriques entrent pour 58 082 quintaux, les appareils électriques et électrotechniques pour 40 103 quintaux, les fils et câbles pour 21 373 quintaux.

Le poids des exportations est de 181 738 quintaux. Si l'on classe les rubriques d'après les poids qui leur correspondent, les fils et câbles se placent au premier rang avec 37 275 quintaux et les appareils électriques et électrotechniques au deuxième, avec 36 740 quintaux ; viennent ensuite les machines dynamoélectriques avec 29 049 quintaux, les pièces en porcelaine ou en verre, avec 22 694 quintaux, les charbons avec 16 934 quintaux, les pièces détachées, avec 15 680 quintaux et les accumulateurs, avec 15 438 quintaux. Il résulte du tableau B que, en poids, nos exportations sont supérieures à nos importations pour huit des douze rubriques ; il n'y a infériorité marquée que pour les machines dynamoélectriques, infériorité qui est de 29 033 quintaux.

Variations des poids des importations et des exportations d'une année a l'autre. — Si l'on se reporte à la troisième colonne de chiffres du tableau B, on voit que les poids des importations de 1930 ont surpassé ceux de 1929 pour toutes les rubriques sauf pour les lampes à incandescences, les charbons, les fils et câbles. La neuvième colonne montre que les poids de nos exportations se sont aussi accrus pour sept des rubriques et la onzième qu'ils n'ont diminué sensiblement que pour les machines dynamoélectriques et les piles.

III. Importations et exportations des produits électrométallurgiques et électrochimiques.

Les poids et les valeurs des produits importés et des produits exportés pendant les premiers semestres de l'année 1929 et des deux années précédentes sont donnés dans le tableau III ; le tableau C indique, tant

pour les valeurs que pour les quantités, d'une part, les différences que présentent nos exportations et nos importations de 1930, d'autre part, les augmentations ou diminutions des poids et valeurs des produits importés ou exportés en 1930 sur celles des produits importés ou exportés en 1929.

Tableau III. — Produits électrométallurgiques et électrochimiques.

CHIFFRES EXTRAITS DE LA STATISTIQUE DOUANIÈRE FRANÇAISE CONCERNANT LE COMMERCE SPÉCIAL POUR LES SIX PREMIERS MOIS DES ANNÉES 1930, 1929 ET 1928.

NUMÉRO DU TARIF		DÉSIGNATION	QUANTITÉS EXPRIMÉES EN QUINTAUX MÉTRIQUES			VALEURS EXPRIMÉES EN MILLIERS DE FRANCS		
			1930	1929	1928	1930	1929	1928
203	IMPORTATIONS	I. Aluminium :						
		en lingots ou déchets	2 092	582	703	2 135	449	601
		laminé, forgé ou fondu	756	700	195	1 792	1 439	600
		battu en feuilles	28	45	15	353	189	105
		en poudre, en paillettes impalpables	359	218	179	718	493	404
		en fils	4	6		10	12	1
205 bis		II. Ferro-alliages :						
		ferro-manganèse	14 096	48 087	110 949	1 947	7 783	18 251
		ferro-aluminium et ferro-silico-aluminium	855	1 153	278	398	405	110
		ferro-silicium	12 858	12 006	3 347	2 263	2 708	630
		silico-spiegel riche et mangano-silicium	1 263	4 909		168	678	
		ferro-chrome	8 802	8 492		3 702	3 308	
		ferro-titane, ferro-silico-titane, ferro-tungstène et ferro-silico-tungstène	200	735	9 488	117	1 088	4 841
		ferro-bore, ferro-molybdène, ferro-tantale, ferro-uranium, etc	24	467		300	2 452	
		éléments rares pour ferro ou cupro-alliages	29	75		1 247	1 173	
0 33		III. Carbure de calcium	482	179	4 408	69	32	358
0 380		IV. Nitrate de calcium	228 837	112 879	142 522	22 028	14 056	18 324
0 380		V. Cyanamide calcique	147 531	79 590	57 551	13 649	7 120	5 808
			418 216	270 123	329 635	50 896	43 385	50 033
		Exportation des produits fabriqués en France ou francisés après transformation						
203	EXPORTATIONS	I. Aluminium :						
		en lingots ou déchets	11 284	3 302	27 987	13 094	3 535	32 794
		laminé, forgé ou fondu	13 318	4 705	7 260	16 803	7 601	13 022
		battu en feuilles	1 264	1 522	1 501	1 866	2 445	2 649
		en poudre, en paillettes impalpables	446	171	276	568	259	355
		en fils	134	264	182	164	418	318
205 bis		II. Ferro-alliages :						
		ferro-manganèse	19 742	4 245	6 977	3 157	1 440	1 845
		ferro-aluminium et ferro-silico-aluminium	260	1 086		213	287	
		ferro-silicium	31 183	30 097	27 779	4 274	5 023	4 178
		silico-spiegel riche et mangano-silicium	389	2 221		82	400	
		ferro-chrome	772	945		607	317	
		ferro-titane, ferro-silico-titane, ferro-tungstène et ferro-silico-tungstène	1 195	2 777	5 872	3 781	3 808	5 071
		ferro-bore, ferro-molybdène, ferro-tantale, ferro-uranium, etc	444	54		2 136	177	
		éléments rares pour ferro ou cupro-alliages					1	
0 33		III. Carbure de calcium	116 810	127 313	113 168	15 746	16 508	14 554
0 380		IV. Nitrate de calcium	17 623	5 068	5 625	1 854	568	787
0 380		V. Cyanamide calcique	8 562	20 972	14 364	851	2 001	1 357
			223 426	204 742	210 991	65 196	44 788	76 930

VALEURS DES IMPORTATIONS ET DES EXPORTATIONS. — D'après le tableau III, la valeur des importations est de près de 51 millions de francs ; le nitrate de calcium entre dans le total pour 22 millions de francs, la cyanamide calcique pour 13,6 millions et les ferro-alliages pour 10,1 millions de francs.

Pour les exportations, la valeur de l'ensemble des produits atteint 65,2 millions de francs, supérieure

de 14,3 millions à celle des importations. Parmi les produits exportés, l'aluminium se trouve en tête pour une valeur de 32,5 millions de francs; vient ensuite le carbure de calcium pour 15,7 millions, puis les ferro-alliages pour 14,3 millions de francs.

Variations des valeurs des importations et des exportations d'une année a l'autre. — Le tableau III montre que la valeur de nos importations de 1930 est supérieure de 7,5 millions de francs à celle des importations de 1929.

La valeur des exportations présente une augmentation de plus de 20 millions de francs. D'après la dixième colonne du tableau C cette augmentation est attribuable à l'augmentation de nos exportations d'aluminium, laquelle a atteint 18,2 millions de francs.

Tableau C. — *Indices du mouvement d'échanges internationaux des principales matières premières électrométallurgiques et électrochimiques pour les six premiers mois des années 1930 et 1929.*

DÉSIGNATION	SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'IMPORTATION SUR L'EXPORTATION		AUGMENTATION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES IMPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		SUPÉRIORITÉ EN 1930 DE L'EXPORTATION SUR L'IMPORTATION		AUGMENTATION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929		DIMINUTION DES EXPORTATIONS DE 1930 SUR 1929	
	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur	en poids	en valeur
	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs	quintaux	milliers de francs
I. Aluminium :												
a) en lingots...			1 510	1 686			9 192	10 959	7 982	9 559		
b) demi-ouvré..			178	740			14 015	16 528	8 500	8 678		
II. Ferro-alliages:												
a) Ferro-manganèse.....					33 991	5 836	5 646	1 210	15 497	1 717		
b) Ferro-silicium			852			445	18 325	2 011	1 086			749
c) Autres ferro-alliages....	8 113				4 658	3 172		887		1 829	4 023	
III. Carbure de calcium.....			303	37			116 328	15 677			10 503	
IV. Nitrate de calcium.....	211 214	20 174	115 958	7 972					12 555	1 286		762
V. Cyanamide calcique....	138 969	12 798	67 941	6 529							12 410	1 150
	358 296	32 972	186 742	16 964	38 649	9 453	163 506	47 272	45 620	23 069	26 936	2 661

Valeur du commerce extérieur et balance commerciale. — La valeur de l'ensemble de nos importations et de nos exportations dépasse 116 millions de francs, alors qu'elle était de 88 millions pour la période correspondante de 1929. La balance commerciale accuse un solde bénéficiaire de 14,3 millions de francs, alors qu'à la fin du premier semestre de l'année 1929 le solde bénéficiaire n'était que de 1,4 million.

Poids des importations et des exportations. — La première colonne du tableau III indique que le poids total des produits importés s'est élevé à 418216 quintaux, dont 228837 quintaux pour les importations de nitrate de calcium (226707 venant de la Norvège, 1990 de l'Allemagne), et 79590 quintaux pour celles de cyanamide calcique (57683 venant de Suisse, 21907 des autres pays).

Le poids des exportations est de 223426 quintaux dont 116810 quintaux pour les exportations de carbure de calcium, soit près de deux tiers du total, 53985 pour celles de ferro-alliages et 26446 pour celles d'aluminium. Ajoutons que nous avons exporté 142365 tonnes de bauxite d'une valeur de 11065000 fr.

Il résulte des nombres des première et septième colonnes du tableau C que nous importons plus de nitrate de calcium et de cyanamide calcique que nous n'en exportons, tandis que nos exportations d'aluminium, de ferro-silicium et de carbure de calcium dépassent notablement nos importations.

Variation des poids des importations et des exportations d'une année a l'autre. — Le tableau III indique que le poids des importations a augmenté de 248189 quintaux, soit de 92 pour 100, tandis que celui des exportations n'a angmenté que de 18684 quintaux, soit de 9,1 pour 100.

J. Reyval.

Assemblées générales

Société anonyme de l'Usine électrique des Clées.

Assemblée générale ordinaire du 26 avril 1930.

Du rapport concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 1 600 000 fr et dont le siège social est à Yverdon (Suisse), nous extrayons les renseignements qui suivent : En 1929, la production en kilowatts-heures a été la suivante : usine génératrice des Clées, 6208675 kw-h ; station réceptrice Sainte-Croix, 2394925 kw-h ; usine de réserve, 200 260 kw-h ; soit, au total, 8803860 kw-h.

En 1928, la production totale a été de 8 636 789 kw-h, l'augmentation est ainsi de 167 070 kw-h (1). L'usine génératrice des Clées a produit 338 735 kw-h de moins qu'en 1928. Par contre la station réceptrice à Sainte-Croix à une augmentation de production de 394 061 kw-h, et l'usine de réserve de 11 745 kw-h.

Les produits du compte de profits et pertes se totalisent par 969 218,48 fr, contre 927 628,80 fr en 1928, donnant ainsi pour le présent exercice une augmentation de 41 589,68 fr. Cette augmentation des recettes brutes provient d'une plus-value de 24 628,80 fr du poste éclairage, de 12 573,57 fr sur celui de force motrice, de 2960,30 fr sur celui location des compteurs et de 1 427,01 fr sur intérêts bonifiés, escomptes, etc. Tous les postes des produits sont par conséquent en augmentation sur l'exercice précédent.

Les charges du compte de profits et pertes, abstraction faite du versement au fonds de construction, s'élèvent à 649 389,73 fr contre 564 359,75 fr en 1928, soit en augmentation de 85 029,98 fr sur l'exercice 1928. Les augmentations les plus importantes sont celles des postes ci-après : entretien du réseau, 15 027,70 fr ; frais généraux, 24 802,75 fr ; assurances, 9 428,60 fr ; exploitation à vapeur, 2081,91 fr et achat d'énergie, 25 000 fr.

Malgré l'augmentation des charges le résultat de l'exercice reste satisfaisant puisqu'il laisse un solde disponible de 274 828,75 fr contre 273 269,05 fr pour 1928, tout en permettant de faire par profits et pertes un versement de 45 000 fr au fonds de construction pour mettre ce fonds en mesure de solder les dépenses engagées pour la surélévation de la tension, dépenses dont une partie grève déjà l'exercice de 1929.

Le solde disponible est réparti comme il suit : amortissement statutaire des obligations, 10 000 fr ; aux actions, dividende statutaire 4 pour 100, 64 000 fr ; superdividende aux actions 6 pour 100, 96 000 fr ; amortissement supplémentaire des obligations, 10 000 fr ; au fonds de construction, 54 928,75 fr ; au conseil d'administration, 39 900 fr.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Réseau et transformateurs	874 000 »
Immeubles	823 088,70
Fonds placés	1 072 313,80
Titres	155 987,50
Débiteurs	87 439,34
Agents	5 442,45
Banques	193 721 »
Compte de chèques postaux	11 007,67
Caisse	5 037,16
Abonnements échus au 31 décembre 1929	264 245,31
Droit de timbre sur coupons obligations	6,80
Droit de timbre sur coupons actions	40,50
	3 492 330,23

Passif.

	fr
Capital actions	1 600 000 »
Capital obligations	270 000 »
Obligations amorties	200 000 »
Coupons d'obligations	5 740 »
Coupons de dividende	1 350 »
Fonds d'amortissement	533 271,15
Fonds d'assurance des tiers	117 309,80
A reporter	2 727 670,95
Report	2 727 670,95
Fonds de construction et d'outillage	196 727,78
Réserve pour différences de cours	204 861,60
Fournisseurs	37 241,15
Passifs transitoires	51 000 »
Solde	274 828,75
	3 492 330,23

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 15 juin 1929, t. XXV, p. 952.

Secteur électrique de la Vallée de l'Oise.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 11 JUIN 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société, au capital de 1 300 000 francs et dont le siège social est à Chauny (Aisne), nous extrayons les renseignements qui suivent :

Au cours du dernier exercice, les travaux neufs n'ont porté que sur l'extension et le renforcement de certains réseaux existants, en particulier à Barisis et Villequier-Aumont, et l'exécution des réseaux à basse tension et des lignes à haute tension nécessaires pour électrifier la commune de Champs.

La même commune, Champs, a accordé à la société une concession de distribution de 40 ans, avec participation aux dépenses de premier établissement.

L'exploitation s'est poursuivie dans l'ensemble des concessions de la société réunissant 46 communes ou agglomérations électrifiées et le nombre des abonnés en basse tension est, au cours de l'exercice, passé de 3 100 à 3600.

Les achats d'énergie se sont élevés à 1 153 680 kw-h contre 1 000 000.

En regard, le nombre des kilowatts-heures vendus a été de 900 000, dont 597 000 ont été vendus directement en haute tension et 303 000 en basse tension.

Au cours de l'exercice, le nombre des abonnés a donc progressé de 16 pour 100 alors que les ventes marquaient une augmentation de 25 pour 100 en haute tension et de 5 pour 100 seulement en basse tension (1).

Ces résultats comparatifs enregistrent nettement dans les communes rurales une crise de sous-consommation des petits abonnés, conséquence de la crise générale de l'agriculture.

L'exploitation des lignes et des réseaux a entraîné, au cours de l'année dernière, de très importants travaux d'entretien et de renouvellement, en particulier, des supports en bois. Ces travaux, dont certains devront se poursuivre au cours des années prochaines, ont conduit la société à engager des dépenses importantes qui, pour la plus grande part, ont grevé d'autant le compte exploitation.

Les produits des opérations d'exploitation se sont élevés pour l'année 1029 à 178 556,62 fr, chiffre inférieur à celui du précédent exercice. Cette régression tient aux raisons générales exposées et principalement à l'importance des dépenses d'entretien et de renouvellement des ouvrages des concessions.

Après dotation de 150 000 fr au fonds d'amortissements ordinaires, le compte profits et pertes présente un résultat bénéficiaire net de 202 187,25 fr.

Ce solde bénéficiaire est réparti comme il suit : à la réserve légale 5 pour 100, 10 109,35 fr ; au fonds d'amortissement du capital, 5000 fr ; aux actions, intérêt statutaire de 5 pour 100, 65 000 fr.

Sur le reste, s'élevant à 122 077,90 fr, il est attribué : 10 pour 100 au conseil d'administration, 12 207,80 fr ;

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 5 octobre 1929, t. XXVI, p. 548.

5 pour 100 à la direction, 6 103,90 fr ; 5 pour 100 à la disposition du conseil pour être répartis aux agents de la société, 6 103,90 fr; 11,5 pour 100 aux parts de fondateurs, 14 038,95 fr.

Sur le reste, s'élevant à 83 623,35 fr joint au report de l'exercice précédent, 97 534,50 fr, soit, 181 157,85 fr il est attribué un dividende supplémentaire de 5 pour 100, 65 000 fr.

Le solde de 116 157,85 fr est reporté à nouveau.

Le dividende brut ainsi fixé serait de : 10 fr par action ; 70,19 fr par part de fondateur.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Terrains	67 112,45
Bâtiments Chauny	293 253,76
Lignes, réseaux, postes du secteur	4 418 056,21
Lignes, réseaux, postes du Syndicat nord-est de Saint-Quentin	1 »
Compteurs en location	305 830,18
Outillage	60 977,62
Automobiles	36 887 »
Mobilier et agencement	39 491,28
Caisses	7 258,98
Banques	190 407,53
Portefeuille-titres	196 800 »
Titres annuités	405 705,45
Titres annuités 10 ans	4 049,60
Abonnés clients	289 756,95
Débiteurs divers	291 760,89
Approvisionnements	245 735,21
Compteurs en magasin	46 612,52
Comptes dommages de guerre	111 889,92
	7 011 586,55

Passif.

	fr
Capital	1 240 000 »
Capital amorti	60 000 »
Réserve légale	65 456,75
Fonds amortissement capital	265 978,03
Amortissements ordinaires	1 634 437 »
Frais supplémentaires D. G.	2 352 390,91
Fonds allocations familiales	4 629,35
Garanties abonnés	85 155 »
Fournisseurs	483 447,46
Créditeurs divers	323 484,61
Dividendes	9 310,28
Pertes et profits:	
Exercice 1929	202 187,25
Exercices antérieurs	97 534,50
Indemnités D. G. (solde remploi)	187 575,41
	7 011 586,55

Société avignonnaise d'Electricité.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE DU 28 MAI 1930.

Des rapports annuels concernant l'exercice 1929 de cette société au capital de 4 800 000 fr et dont le siège social est à Avignon, 15, place de la Principale, nous extrayons les renseignements qui suivent :

L'exploitation a été assurée, pendant tout l'exercice, dans de bonnes conditions et le nombre des abonnés, atteignait 11 490 au 31 décembre 1929, en augmentation de 991 pendant l'année.

Soucieuse de l'excellence de la distribution, la société a renforcé et prolongé ses réseaux, amélioré et étendu l'éclairage public, commandé à la Compagnie électromécanique un redresseur à vapeur de mercure de 575 kw et enfin entamé d'importants travaux pour l'électrification de la banlieue d'Avignon.

Ainsi qu'il apparaît par la lecture du bilan, l'ensemble de ces dépenses, réalisées au cours de l'exercice, dépasse 1 700 000 fr (1).

L'augmentation des recettes et des dépenses laisse apparaître une augmentation des bénéfices, ainsi qu'il résulte du compte de profits et pertes.

Les recettes de l'exercice se sont élevées à 6 329 912,77 fr et les dépenses, y compris les frais généraux, provisions et amortissements jugés nécessaires par le conseil, à 4 752 401,04 fr, ce qui laisse un solde créditeur de 1 577 511,73 fr.

Il est déduit : intérêt des obligations, 9 270 fr ; amortissements de 39 obligations, 19 500 fr; solde du compte intérêts et divers, 9 707,56 fr.

Tenant compte de la valeur plus grande des immobilisations, il est attribué au fonds d'amortissement, 400 000 fr et à la réserve pour amortissement des actions, 250 000 fr.

Le bénéfice s'élève donc à 889 034,17 fr.

Il est porté à la réserve légale 5 pour 100 de ce bénéfice, soit 44 451,70 fr.

D'autre part, il y a lieu d'ajouter le report de l'exercice précédent, soit 18 409,07 fr.

L'intérêt statutaire s'élève à : actions entièrement libérées, 144 000 fr; actions libérées d'un quart, 36 000 fr.

Il reste une somme de 682 991,54 fr.

Le conseil reçoit 66 458,24 fr.

Il est affecté à la réserve spéciale 150 000 fr et pour dividende supplémentaire de 9 fr par action aux 48 000 actions, 432 000 fr.

Le solde s'élevant à 34 533,30 fr est reporté à nouveau.

Le dividende représenté par le coupon n° 27 s'élevant à : 15 fr par action entièrement libérée, et 10,50 fr pour les actions libérées d'un quart, est mis en paiement à partir du 30 juin 1930, sous déduction des impôts.

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1929.

Actif.

	fr
Frais de constitution, de premier établissement et apports	1 »
Mobilier et outillage	1 »
Installations de la concession	9 252 173,12
Approvisionnements	235 931,23
Matériel en location	485 706,57
Caisses et banques	145 298,01
Débiteurs divers	1 384 518,20
Participations	196 005 »
Actionnaires	1 800 000 »
	13 499 634,13

Passif.

	fr
Capital : 48 000 actions de 100 fr	4 800 000 »
Obligations	186 500 »
Réserve légale	237 486,91
Fonds d'amortissement	1 438 500 »
Réserve pour amortissement des actions	700 000 »
Réserve spéciale	1 000 000 »
Réserve immobilisée	944 298,35
Fournisseurs et créditeurs divers	3 285 405,63
Profits et pertes :	
Exercice 1929	889 034,17
Report exercice 1928	18 409,07
	13 499 634,13

(1) Voir *Revue générale de l'Electricité*, 21 septembre 1929, t. XXVI, p. 462.